

RUSSIAN FEDERATION



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 563 511** (13) **C2**

(51) Int. Cl.

C22B 3/18 (2006.01)

C22B 60/00 (2006.01)

G21F 9/04 (2006.01)

G21G 7/00 (2009.01)

C12N 1/20 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2014119570/10, 15.05.2014**

(24) Effective date for property rights:
15.05.2014

Priority:

(22) Date of filing: **15.05.2014**

(43) Application published: **20.04.2015** Bull. № 11

(45) Date of publication: **20.09.2015** Bull. № 26

Mail address:

**420043, g.Kazan', ul. Vishnevskogo, 14,
kv. 63, V.M. Kurashovu, T.V. Sakhno**

(72) Inventor(s):

Kurashov Viktor Mikhajlovich (RU),

Sakhno Tamara Vladimirovna (RU)

(73) Proprietor(s):

Kurashov Viktor Mikhajlovich (RU),

Sakhno Tamara Vladimirovna (RU)

(54) **MICROBIOLOGICAL METHOD OF TRANSMUTATION OF CHEMICAL ELEMENTS
AND CONVERSION OF ISOTOPES OF CHEMICAL ELEMENTS**

(57) Abstract:

FIELD: biotechnology.

SUBSTANCE: radioactive raw materials containing radioactive chemical elements or their isotopes, are treated with an aqueous suspension of bacteria of *Thiobacillus* in the presence of elements with variable valence. The radioactive raw materials are used as ores or radioactive wastes of nuclear cycles. The method is implemented to obtain polonium, radon, francium, radium, actinium, thorium, protactinium, uranium,

neptunium, americium, nickel, manganese, bromine, hafnium, ytterbium, mercury, gold, platinum, and their isotopes.

EFFECT: invention enables to obtain valuable radioactive elements, to carry out the inactivation of nuclear wastes with the conversion of radioactive isotopes of the waste elements into stable isotopes.

3 cl, 18 dwg, 5 tbl, 9 ex

RU 2563511 C2

RU 256 3 511 C2

The invention relates to transmutation of chemical elements and transformation of radioactive isotopes, i.e., to artificial obtaining of certain chemical elements from other chemical elements. In particular, the method allows obtaining rare and valuable elements: polonium, radon, francium, radium, and actinides - actinium, thorium, protactinium, uranium, neptunium, and various isotopes of these and other elements.

Rare chemical elements, their isotopes and by-products have been until now difficult and unsafe to obtain using the traditional methods by means of traditional nuclear reactions in small (sometimes microscopic) amounts, which are clearly insufficient for satisfying the humankind's need for energy in technology, industry, and science. The described microbiological method of chemical elements transmutation allows obtaining rare chemical elements and their isotopes in virtually unlimited quantities; it is simple, safe for personnel and the population, environmentally safe, and does not require large amounts of materials, water, heat, and electricity.

A microbiological method of chemical elements' transmutation and transformation of chemical elements' isotopes is proposed, which is characterized by the fact that radioactive materials containing radioactive chemical elements or their isotopes, are treated with an aqueous suspension of genus *Thiobacillus* bacteria, in the presence of any s, p, d, f-elements with variable valence. The variable valency elements are selected based on the principle of creating a high redox potential. That is, the key factor of such selection, or just focusing on certain variable valency elements introduced into the reaction environment is the redox potential, the value of which is optimal in the range between 400 and 800 mV (e.g., in examples 1, 2, 3, 4 $E_h=635$ mV, 798 mV, 753 mV, and 717 mV, respectively).

Variable valency elements, both in reduced and oxidized forms, creating a standard redox potential, participate in starting and controlling mechanisms of initiation and acceleration of alpha, beta-minus and beta-plus decays of radioactive isotopes of the elements in any group by the genus *Thiobacillus* bacteria.

The method leads to obtaining polonium, radon, francium, radium, actinium, thorium, protactinium, uranium, neptunium, americium and isotopes thereof, as well as nickel, manganese, bromine, hafnium, ytterbium, mercury, gold, platinum and isotopes thereof. Wastes of uranium or thorium ores and radioactive wastes from nuclear cycles containing radioactive chemical elements may be used as radioactive raw material.

The claimed method has been used to obtain the following elements from raw materials containing natural uranium-238 and thorium-232:

1. Protactinium, actinium, radium, polonium, and various isotopes of these elements (Tables 1, 2, 3, 4; Schemes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; Figures 1 through 17).
2. Francium (Figures 4, 5, 6, 7, 9, 14).
3. Ytterbium, hafnium, gallium, nickel (Table 1; Figures 2, 3, 4, 5, 6, 7), gold (Table 1; Figures 6, 7), mercury (Tables 1, 2; Schemes 9, 10; Figures 4, 5, 11), platinum (Table 1; Scheme 9, 10; Figures 4, 5, 6, 7).
4. Iron content in the environment decreases, nickel appears (the source ore did not contain nickel), whereby nickel content increases over time (Table 1), as iron accepts alpha-particles carried by bacteria from the alpha-radioactive elements, and turns into nickel. Separation of a proton from the nucleus of iron results in increasing the concentration of manganese in the medium (iron transforms into manganese), and, consequently, to reducing iron content (Table 1).

5. Out of polonium, which is the product of actinide elements decay in the microbiological process of elements transmutation, various isotopes of thallium, mercury, gold, platinum have been obtained, including the stable ones (Tables 1, 2; Schemes 10, 11; Tables 1, 2; Figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11).

6. RARE isotopes have been obtained from plutonium-239: uranium-235, thorium-231, protactinium-231, actinium-227 (Scheme 12).

7. Out of plutonium-241, which is a byproduct of burning uranium in a reactor, rare in the nature and in the industry, and scarce isotopes of neptunium and americium have been obtained: ^{241}Am and ^{237}Np (Scheme 13).

Thus, the described microbiological method solves the problem of providing rare and rare scarce materials to various areas of industry, science and technology.

Using this method, the authors managed to obtain the following elements: polonium, radon, francium, radium, and actinides - actinium, thorium, protactinium, uranium, neptunium, plutonium, americium, and various isotopes thereof, and various isotopes of thorium and uranium - thorium-227, thorium-228, thorium-230, thorium-234; uranium-231, uranium-232, uranium-233, uranium-234, uranium-235, uranium-236, uranium-239, as well as manganese, nickel, gallium, bromine, hafnium, ytterbium, thallium, mercury, gold, platinum (see Schemes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, and Tables 1, 2, 3, 4).

The claimed method of chemical elements transmutation allows obtaining all the chemical elements listed above, and their isotopes in virtually unlimited quantities.

The described method of elements transmutation also allows inactivating and neutralizing nuclear wastes, for example, wastes of nuclear fuel (uranium) combustion from nuclear power plants that contain uranium, plutonium, their isotopes and products of fission and decay (products of isotope transitions): isotopes of uranium and plutonium (see scheme 13), radium and polonium; radioactive isotopes of strontium, iodine, cesium, radon, xenon, and other products of alpha and beta decay, and spontaneous fission of uranium and plutonium.

The claimed method uses bacteria of the *Thiobacillus* genus (for example, the *Thiobacillus aquaesulis* or *Thiobacillus ferrooxidans* species) that in the presence of elements of variable valency initiate and accelerate natural processes of radioactive decay and isotopic transitions of radioactive elements. With that, the duration of natural nuclear reactions and isotopic transitions decreases thousands, millions and billions of times, depending on the natural half-life of the source isotopes of certain chemical elements.

Any raw materials that contain radioactive elements may be used as the source.

The raw materials that contain any of the above radioactive elements are treated with an aqueous solution of the *Thiobacillus* genus bacteria, for example, species *Thiobacillus aquaesulis* or *Thiobacillus ferrooxidans*, or their mixture in any proportion, or by any kind of sulfur oxidizing bacteria in the presence of variable valency elements, in normal conditions of microorganisms activity.

The method does not require expensive nuclear reactors that are hazardous to people and the environment, is performed in ordinary conditions, in ordinary containers, at normal ambient temperature (acceptable values are between 4 and 60 degrees centigrade), at normal atmospheric pressure, and does not require flow of fresh water.

Mechanisms

In our method, microorganisms initiate and accelerate alpha-decay ($-\alpha$), beta minus (β), and beta plus ($+\beta$) decay (electron capture). The microorganisms capture protons, alpha particles (two protons and two neutrons), and electrons (beta minus decay) in the nuclei of heavy elements (mainly, any f-elements and heavy s-elements), thus transferring captured protons, alpha particles and electrons to other elements, mainly, d - and p-elements, e.g., arsenic and iron. Also, microorganisms can transfer protons, alpha particles, electrons, and positrons to other elements, e.g., to f-element ytterbium if it is present in the environment. Bacterial capture and separation of protons, alpha particles and electrons occurs in the radioactive elements of f-group and s-group (according to the classification of the Periodic Table of Elements). Bacteria also initiate and accelerate beta-plus ($+\beta$) decay (electron capture) in the nuclei of beta-plus radioactive isotopes of elements in any group, transferring into the nuclei of these elements the electron obtained in the process of beta minus (β) decay of other isotopes, subjected to the beta-minus decay, or captured from the variable valency elements (non-radioactive) present in the medium, in the process of bacterial oxidation.

Protons (P), alpha particles (α) and electrons (e^-) are transferred by bacteria to the elements of d-group (e.g., iron, etc.), the elements of p-group (e.g., arsenic, etc.) and to the elements of s-group (strontium, cesium, radium, etc.).

Bacterial capture and separation of protons, alpha particles and electrons occurs in alpha - and beta-radioactive isotopes of the elements of f-group, s-group and p-group, which are naturally alpha- or beta- radioactive themselves; the bacteria initiate, and increase the speed of alpha and beta decay processes millions and billions times.

Bio-alpha decay ($-\alpha$)

In the process of alpha decay, when the nuclei lose two protons, the elements of f- and s-groups are transformed into lighter elements (going two cells forward in the table of the Periodic System of Elements).

After capturing and detaching protons and alpha particles from f- and s-elements, bacteria transfer these protons and alpha particles to various elements of d-, p - and s-groups, transforming them into other elements, next in the periodic system of chemical elements (moving one or two cells forward in the table of the periodic system of elements).

In case of bacterial transfer of alpha-particles from the f-elements to iron, iron is transformed into nickel (see Table 1); in case of bacterial transfer of protons and alpha particles from the f-elements to arsenic, arsenic is transformed into bromine (see Table 1); in case of bacterial transfer of protons and alpha particles from f-elements to ytterbium, ytterbium is transformed into hafnium (see Table 1).

Bio-beta decay ($-\beta$, $+\beta$)

Bacteria initiate and accelerate both types of beta decay: beta-minus decay and beta plus decay.

Beta minus decay ($-\beta$) is emission of an electron by the nucleus, which results in transforming the neutron into a proton and transformation of the element into the next element in the periodic system of chemical elements (moving one cell forward in the table of the periodic system of elements).

Beta plus decay ($+\beta$) is capturing of an electron by the nucleus, which results in transforming the proton into a neutron and transforming the element into the previous element in the periodic system of chemical elements (moving one cell backward in the table of the periodic system of elements).

In the process beta-decay initiated and accelerated by bacteria, sometimes, subsequent emission of the so-called “delayed” neutron occurs - spontaneously, naturally, according to the physical laws of the isotope decays and transfers, resulting in a lighter isotope of this element. The use of the delayed

neutron emission mechanism allows extending further the list of thus obtained elements and isotopes, and predicting and regulating the process of bio-transmutation (stopping it at the required moment).

Bacteria initiate and accelerate beta decay, i.e., emitting beta-radioactive chemical elements by the nucleus, or capturing an electron by the nucleus. Bacteria initiate and accelerate the beta decay in isotopes of elements that are both initially contained in the raw material, in the medium, and isotopes of elements artificially obtained in the biological process after alpha-decay initiated by bacteria. The last fact: beta decay occurring after bacterial-induced alpha decay is of great practical significance for obtaining valuable energy-critical elements and isotopes.

Bacteria also capture and break away electrons from lighter nuclei, compared to f-elements, namely, from beta-minus radioactive isotopes that are the products ("fragments") of uranium and plutonium fission, e.g., nuclei of strontium-90, yttrium-90, iodine-129, iodine-130, cesium-133, cesium-137 and some other elements, which transform into stable elements in the process of beta decay. In the core of a chemical element, the neutron is transformed into a proton, and the element shifts one or two cells (depending on the source isotope) forward in the table of the periodic system of elements. This process makes it possible to drastically and cleanly dispose of highly radioactive waste in nuclear industry and nuclear power plants, i.e., the products of burning nuclear fuel that contain radioactive elements - "fragments" of fission of uranium, plutonium and other transuranium elements - actinides, and the products thorium fission, if it is used in a thorium nuclear cycle.

The electron captured by bacteria in beta-minus decay is transferred by bacteria to the nuclei of beta-plus radioactive isotopes of elements (if they are present in the environment). Redox reactions also occur in the process. For example, in course of bacterial electron transfer to iron (III), it transforms into iron (II), in course of electrons bacterial transfer to arsenic (V), it transforms into arsenic (III). The surface charge of bacterial cells is caused by dissociation of ionogenic groups in the cell wall, which consists of proteins, phospholipids and lipopolysaccharides. With physiological pH of microbial cells, bacteria on their surface carry excessive negative charge, which is formed due to dissociation of ionogenic, predominantly acidic, groups of cell surface. Negatively charged surface of the microbial cells attracts from the environment oppositely charged ions, which, under the influence of electrostatic forces, tend to approach the ionized groups in the cell membrane. As a result, the cell becomes surrounded by double electric layer (the adsorption layer and the diffusion layer). The charge of the cell fluctuates, depending on the processes in the environment. Upon the action exposed to alpha particles, negative charge of the cells decreases (by its absolute value), and becomes a positive charge, which accelerates the beta-decay processes. Next, under the action of the electrons emitted from radioactive elements during beta decay, as well as the electrons coming from the variable valency elements in restored form into the adsorption layer of microorganisms, the negative charge of the microorganisms increases (by its absolute value), changes from positive to negative, which accelerates alpha decay, and distracts positively-charged protons and alpha particles from the atoms of chemical elements. These accelerating processes occur due to electrical interaction of the negatively and positively charged groups of cell surface with alpha - and beta-particles of the radioactive elements, respectively. In the logarithmic stage of microorganisms growth, the negative charge of the cells reaches the maximum value, which leads to the maximum speed of elements transformation. The chemical elements transformation processes may occur both within bacterial cells, and on the surface of cell walls in the adsorption layer of the electric double layer.

Thus, microbial cells, changing their charging characteristics in a labile manner, are the regulating and accelerating system for several types of radioactive decay and transformation of some elements into others.

In order to accelerate the process of chemical elements transmutation by microorganisms, when the charge of microorganisms was close to isoelectric point in the reaction solution, surface-active substances (surfactants) were used. Polyampholytes, ionogenic surfactants, both anionic and cationic surfactant, introduced into the reaction medium, by modifying the charge of the cells

(shifting the charge from the isoelectric point in the positive or negative direction), contribute to bacterial initiation and intensification of the chemical elements transmutation processes (Example 9).

The microbiological method of chemical elements transmutation makes it possible to obtain rare and valuable isotopes of uranium - uranium-232, uranium-233, uranium-234, uranium-235, uranium-236, and other valuable chemical elements and their isotopes: neptunium-236 and neptunium-237 and neptunium-238, plutonium-236, plutonium-238, americium-241, protactinium-231, protactinium-234, thorium-227, thorium-228, thorium-230, actinium-227, radium-226, radium-228, radon-222, polonium-209, polonium-210 from natural uranium (uranium-238) in almost unlimited quantities. Industrial, technical and energy value, as well as the market value of the obtained elements is much higher than that of the source element, uranium-238.

The microbiological method of chemical elements transmutation allows obtaining virtually unlimited quantities of neptunium-236, neptunium-237, neptunium-238, plutonium-236, plutonium-238, americium-241 and other isotopes of neptunium, plutonium and americium.

Generally accepted short designation the following diagrams and tables:

Uranium-238, ^{238}U : here 238 is the relative atomic mass, i.e., the total number of protons and neutrons.

P is proton.

N or n is neutron.

α is the alpha particle, i.e., two protons and two neutrons.

$(-\alpha)$ is the alpha particle emitted from an atom (from the element) in our reactions, in this case, the sequence number (the charge of the nucleus) decreases by two units, and the element transforms into a lighter element, shifted two cells in the periodic table of elements (shifts two cells back). In this case, the relative atomic mass decreases by four units.

Beta decay is the transformation where the sequence number of the element (nucleus charge) changes by one, and the relative atomic mass (total number of protons and neutrons) remains constant.

$(+\beta)$ is emission of a positively charged positron particle, or capture of a negatively charged electron by the nucleus: in both cases, the sequence number (the nucleus charge) of the element decreases by one.

The phenomena of emission, the so-called "delayed neutron" (usually one or two) are observed after beta decay. With that, the new chemical element formed by beta decay, after emitting delayed neutrons (neutron) retains its new location and the cell in the table of periodic system of elements, since it retains the charge of the nucleus (the number of protons) but loses its atomic mass, forming new, lighter isotopes.

$(-n)$ - "delayed neutron" is the neutron emitted from the atom after beta decay, with that, the atomic mass of the new element is decreased by one.

$(-2n)$ - two "delayed neutrons" is the neutron emitted from the atom after beta decay, with that, the atomic mass of the new element is decreased by one.

$(\check{\alpha})$ - a "delayed" alpha particle (the type of isotope decay), emitted from the atom (of the element) after beta decay. In this case, the sequence number (the nucleus charge) is decreased by two units, and the relative atomic mass of the element decreases by 4 units.

Another transmutation of the chemical element occurs (shifting two cells back in the table of the periodic system of chemical elements).

$T_{1/2}$ or T is the half-life of the element isotope.

The authors have performed a series of successful reproducible experiments with various ores and raw materials. Raw materials containing radioactive elements were treated with an aqueous solution of bacteria of the *Thiobacillus* genus, in the presence of variable valency elements, and any s, p, d and f elements constituting a standard redox potential (e.g., Sr^{2+} , nitrogen $\text{N}^{5+}/\text{N}^{3-}$, sulfur $\text{S}^{6+}/\text{S}^{2-}$ - arsenic $\text{As}^{5+}/\text{As}^{3+}$, iron $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$, manganese $\text{Mn}^{4+}/\text{Mn}^{2+}$, molybdenum $\text{Mo}^{6+}/\text{Mo}^{2+}$, cobalt $\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}$, vanadium $\text{V}^{5+}/\text{V}^{4+}$, etc.). We used various bacteria of genus *Thiobacillus*, iron oxidizing and sulfur oxidizing bacteria (thermophilic and other) involved in the redox processes of metals, a positive effect has always been achieved. The authors have performed 2536 experiments. The obtained experimental data have been statistically processed (see tables 1, 2, 3, 4) and shown in schemes of the microbiological method of obtaining various valuable isotopes of uranium, protective, thorium, actinium, radium, polonium and other elements from uranium-238 (^{238}U) and thorium-232 (see Figures 1 to 17, Schemes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13). The schemes of reactions and isotopic transitions do not contradict to, but confirm the existing theory of radioactive decays.

Example 1.

For chemical elements transmutation and obtaining new elements and isotopes, sulphide ore from Saudi Arabia, containing uranium and thorium were used as the raw material for microbiological processing (Table 1, Figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7). The ore from Saudi Arabia also contained phosphorus, arsenic, vanadium mainly in the oxidized form (phosphates, arsenates, vanadates), and iron - in both oxidized and reduced state. Therefore, for creating a high redox potential in the fermenter, the raw materials were processed with *Thiobacillus acidophilus* microorganisms of the DSM-700 strain in an aqueous solution of elements with variable valency in a solution in reduced state: Mn^{+4} , Co^{+2} , Fe^{+2} , N^{-3} , S^{-2} (in the form of salts), their total mass being 0.01% of the medium weight.

In growing the *Thiobacillus acidophilus* microorganisms of strain DSM-700, standard nutrient mediums were used (e.g. mediums of Leten and Waxman for *Thiobacillus ferrooxidans*, medium 9K and mediums for other iron and sulfur - oxidizing bacteria). To the standard nutrient mediums, variable valence elements - trans-element were added (the elements transferring electrons, e.g., Mg, Mn, Co, Mo, Fe, Zn and Cu in form of salts) their total mass being 0.01% of the weight of the medium, as well as the products of organic material hydrolysis, for example, hydrolysis of wastes from fish, meat, or wood processing (2% of the mass, depending on the environment) and raw materials (uranium- or thorium-containing ores or radioactive wastes in the amount of 1.5% wt, depending on the environment). 10% solution of culture medium with optional autotrophic microorganisms in the exponential stage of growth was introduced into the fermentation medium that contained 10% raw materials (ores).

The process of transmutation was performed in ten fermentation shake flasks. pH of the solution was regulated with a 10-normal sulfuric acid, during the process the pH of the solution was maintained in the range between 0.8 and 1.0. The temperature of the process was 28-32 degrees centigrade. The redox potential (Eh) in the solution in the logarithmic stage of transmutation process was 635 mV. The mixing speed was 300 rpm. The ratio of solid to liquid phase was 1:10 (100 g of ore per 1 liter of the aqueous solution). Every 24 hours, the pH and Eh of the solution were measured, as well as concentration of the chemical elements and isotopes in the solution, and activity of the microorganisms was monitored. The process continued for nine days. The methods of analyzing water solutions and ore were used: for detecting presence of elements, x-ray fluorescence method was used, the type of instruments: CYP-02 "Renome FV"; S2 PICOFOX. Also, the atomic-absorption method was used. The isotopic composition was determined using the mass-

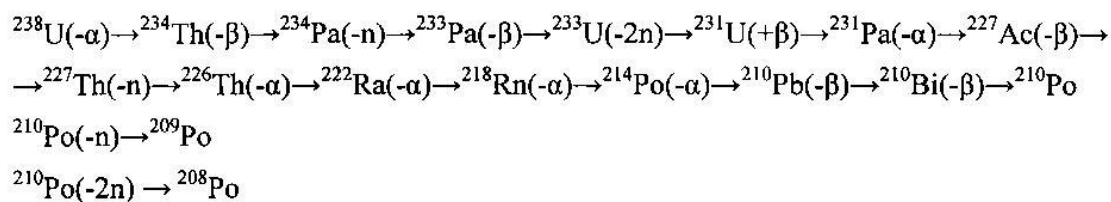
spectroscopic method. The charge characteristics of microbiological cells were determined by the electrophoretic mobility at the Parmoquant-2 automatic microscope. According to the data from the devices, the qualitative and quantitative composition of end products was determined. The results of the performed and statistically processed experiments, depending on the duration of the process are shown in Table 1. Fig. 1 shows the spectrogram of the original ore from the Saudi Arabia without microbiological treatment and without transformation of chemical elements. Figures 2, 3, 4, 5, 6, 7 show spectrograms of the analyses of the chemical elements transmutation during microbiological processing of the ore from Saudi Arabia. Depending on the duration of the process: 48 hours (2 days), 72 hours (3 days), 120 hours (5 days), 120 hours (5 days), 168 hours (7 days), 192 hours (8 days), respectively.

Table 1. Results of transmutation of chemical elements and transformation of isotopes under microbiological treatment of Arabian Peninsula sulphide ore containing ^{238}U and ^{232}Th .

Element s	Half-life period $T_{1/2}$	Content of elements in 100 g of ore, mg	Content of mg of elements in 1 litre of solution per 100 g of ore, mg of element/100 g of ore in 1 l of solution. (Arabian Peninsula ore, mass fraction ^{238}U =620g/tone, ^{232}Th =40g/tone)								
			Days								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
^{238}U	$4,5 \times 10^9$ years	62,0	62,0	43,6	17,2	4,2	0	0	0	0	0
^{234}Th	24,1 days	0	0	11,01	12,61	8,57	6,23	4,01	2,98	1,27	0
^{234}Pa	6,66 hours	0	0	3,08	1,87	1,69	1,38	1,02	0,71	0,23	0
^{233}Pa	27 days	0	0	0	3,23	3,62	3,72	3,54	2,97	1,38	0
^{232}Pa	1,31 days	0	0	0	5,46	6,63	2,14	0,53	0,28	0,12	0
^{231}Pa	$3,43 \times 10^4$ years	0	0	0	0	5,73	6,85	6,90	7,09	8,21	8,24
^{234}U	2×10^{16} years	0	0	0	9,14	8,45	8,26	6,96	6,77	3,20	1,00
^{233}U	$1,62 \times 10^5$ years	0	0	0	7,64	7,93	7,73	7,51	6,29	5,97	2,68
^{232}U	8×10^{13} years, 74 years	0	0	0	0	6,14	7,31	6,65	4,03	1,27	0
^{232}Th	$1,39 \times 10^{10}$ years	4,00	4,00	0	0	0	0	0	0	0	0
^{228}Ra	6,7 years	0	0	2,80	2,56	0	0	0	0	0	0
^{227}Ac	21,6 years	0	0	5,15	5,37	8,91	12,02	15,11	15,2	20,7	22,87
^{230}Th	8×10^4 years	0	0	0	0	1,74	2,53	2,01	1,78	0,83	0
^{226}Ra	1617 years	0	0	0	0	0	1,71	1,93	1,09	0,54	0
^{210}Po	138,4 dys	0	0	0	0	0,20	1,01	2,25	6,25	9,23	9,56
^{209}Po	103 years	0	0	0	0	0	0,61	1,32	2,74	3,17	7,27
^{208}Po	2,93 years	0	0	0	0	0	0,20	1,08	2,73	3,19	7,42
^{56}Fe	Stable	201,9	201,8	201,7	201,48	201,23	201,01	200,59	200,5	200,2	199,6
^{60}Ni	Stable	0	0	0,1	0,21	0,34	0,46	0,68	0,75	0,88	1,20
^{55}Mn	Stable	143	143	143,1	143,19	143,31	143,42	143,63	143,7	143,8	144,1
^{75}As	Stable	270	270	269,8	269,48	269,16	268,86	268,30	268,1	267,8	267,0
^{79}Br	Stable	0	0	0,11	0,28	0,45	0,61	0,91	1,00	1,17	1,60
^{71}Ga	Stable	0	0	0,09	0,25	0,40	0,54	0,80	0,89	1,04	1,42
^{173}Yb	Stable	0,02	0,02	0,01	0,005	0	0	0	0	0	0
^{177}Hf	Stable	0	0	0,01	0,015	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021
Hg		0	0	0	0	0,26	0,39	0,85	0	0	0
Pt		0	0	0	0	0	1,01	1,65	1,94	3,07	2,52
Au		0	0	0	0	0	0	0	0,18	0,23	0,29

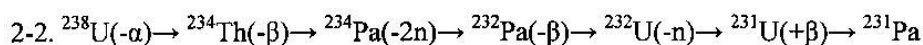
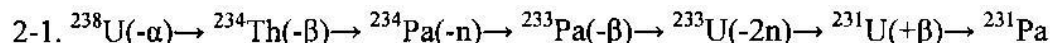
Scheme 1. Obtaining of various valuable isotopes of Uranium, Protactinium, Thorium, Actinium, Radium, Polonium from Uranium-238 (^{238}U) with microbiological method:

Получение микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U) различных ценных изотопов урана, протактиния, тория, актиния, радия, полония:



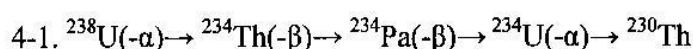
Scheme 2. Obtaining of Protoactinium-231 from Uranium-238 (^{238}U) by various ways with microbiological method:

Получение протактиния-231 (^{231}Pa) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U) различными путями:



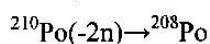
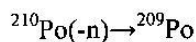
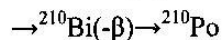
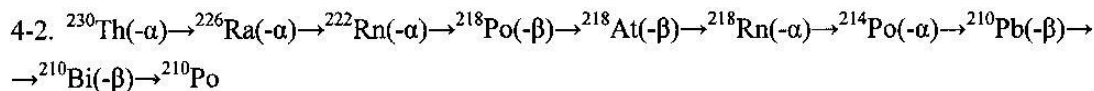
Scheme 4. Obtaining of Thorium-230 (^{230}Th) from Uranium-238 (^{238}U) with microbiological method:

Получение тория-230 (^{230}Th) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U):



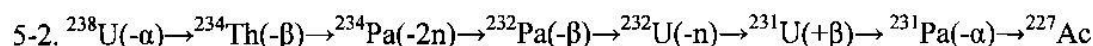
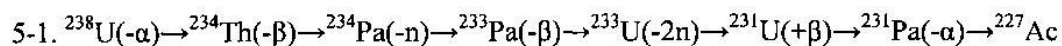
Then, the process either stops (and ^{230}Th separating), if Thorium-230 is the final target of the process. Or the process continues in order to obtain valuable and rare radioactive isotopes of Radium (^{226}Ra), Radon, Astatine, Polonium, Bismuth, and Plumbum:

Далее, процесс или останавливается (и выделяется ^{230}Th), если торий-230 является конечной целью процесса. Или процесс продолжается до получения ценных и редких радиоактивных изотопов радия (^{226}Ra), радона, астата, полония, висмута, свинца:



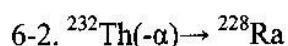
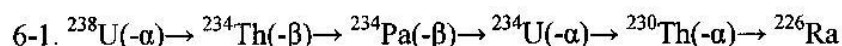
Scheme 5. Obtaining of Actinium-227 (^{227}Ac), by various ways from Uranium-238 (^{238}U) with microbiological method:

Получение актиния-227 (^{227}Ac) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U) различными путями.



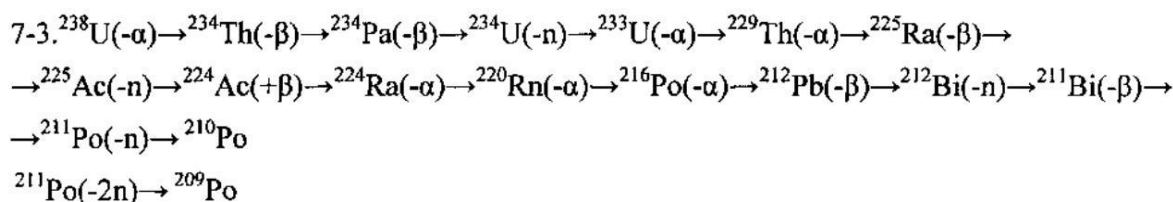
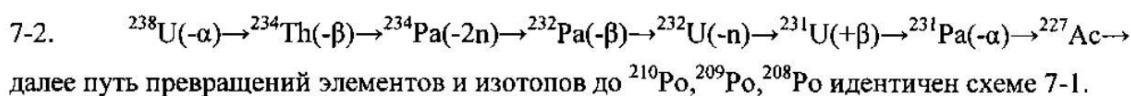
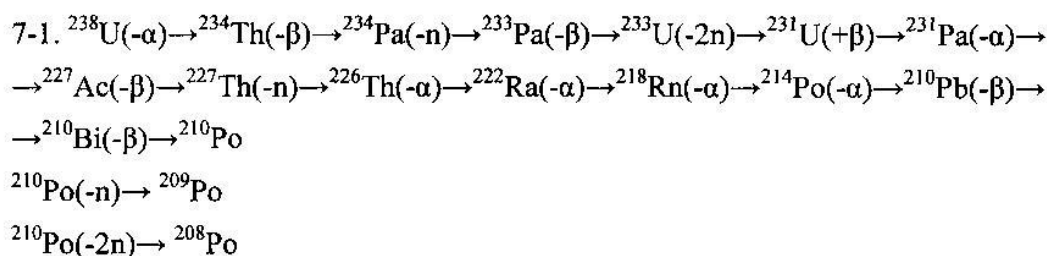
Scheme 6. Obtaining of Radium-226 (^{226}Ra) and Radium-228 (^{228}Ra) with microbiological method from Uranium-238 (^{238}U) (see 6-1) and Thorium-232 (^{232}Th) (see 6-2) respectively:

Получение радия-226 (^{226}Ra) и радия-228 (^{228}Ra) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U) (см. 6-1) и из природного тория-232 (^{232}Th) (см. 6-2) соответственно:



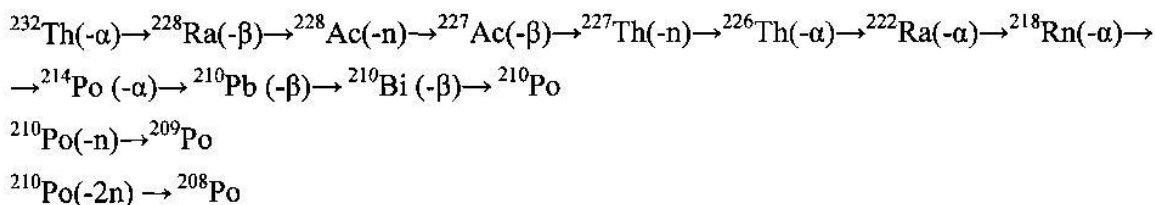
Scheme 7. Obtaining of the most valuable and stable isotopes of Polonium (^{210}Po , ^{209}Po , ^{208}Po) with microbiological method from Uranium-238 (^{238}U).

Получение наиболее ценных и стабильных изотопов полония (^{210}Po , ^{209}Po , ^{208}Po) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U).



Scheme 7. Obtaining of various Isotopes of Thorium, Actinium, Radium, Polonium, with microbiological method from natural Thorium-232 (^{232}Th):

Получение различных изотопов тория, актиния, радия, полония микробиологическим способом из природного тория-232 (^{232}Th):



Example 2.

The method of the process is the same as in Example 1. The initial raw material for transmutation of chemical elements and obtaining new isotopes is uranium ore from North-west Africa, containing uranium, thorium, arsenic and sulfur in reduced form (metal sulfides, arsenide, sulphoarsenides). Therefore, to create a high redox potential feedstock treated with microorganisms *Thiobacillus aquaesulis* strain DSM-4255 in the aqueous solution with the variable valence elements, in solution in the oxidized form: N + 5, 5 + P (in the form of phosphates), As + 5, S + 6 Fe + 3, Mn + 7, their total weight 0.01% by weight of the medium. Redox (Eh) in the solution process of transmutation in the logarithmic stage is 798 mV. The temperature of the process 30-35 degrees Celsius, environment pH 2-2.5.

The time of the twenty-day process. The results of the statistically treated experiments depending on the time of the process are given in Table 2. The spectrograms analysis of chemical elements in transmutation microbial processing of uranium ore North-West Africa as a function of time for the process, after 24 hours (1 day) after 144 hours (6 days) across

5168 hours (7 days) after 192 hours (8 days), after 480 hours (20 days) are shown in Figures 8, 9, 10, 11, respectively.

Table 2. Results of transmutation of chemical elements and transformation of isotopes under microbiological treatment of Northwest Africa ore containing.

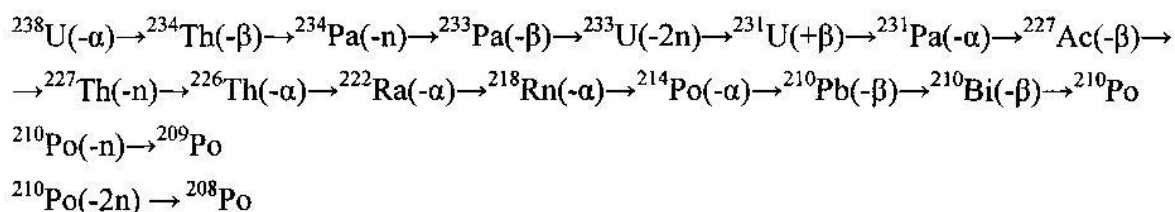
Элементы	Период полураспада $T_{1/2}$	Содержание элементов в 100 г руды, мг	Количество мг элементов в 1 литре раствора на 100 г руды, мг элемента/100 г руды в 1 л раствора. (Руда Северо-Западной Африки, массовая доля урана $^{238}\text{U} = 2,8\text{кг/т}$)								
			Day								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
^{238}U	$4,5 \times 10^9$ Лет	280,0	280,0	250,7	190,12	140,05	102,3	65,88	34,52	26,62	21,57
^{234}Th	24,1 суток	0	0	23,20	22,09	20,99	19,77	18,01	14,91	10,84	8,43
^{234}Pa	6,66 час	0	0	5,60	10,62	10,05	7,87	6,99	6,02	5,53	5,02
^{233}Pa	27 сут.	0	0	0	9,39	8,53	7,46	6,96	6,39	5,79	5,32
^{232}Pa	1,31 суток	0	0	0	12,28	8,00	7,05	6,73	6,05	5,39	4,99
^{231}Pa	$3,43 \times 10^4$ лет	0	0	0	0	20,40	40,02	53,03	97,32	104,05	94,23
^{227}Ac	21,6 год	0	0	0	0	0	31,32	69,99	70,49	78,24	86,51
^{234}U	2×10^{16} лет	0	0	0	27,92	19,49	12,06	8,11	6,18	6,08	6,08
^{233}U	$1,62 \times 10^5$ лет	0	0	0	5,89	16,27	20,47	16,19	10,90	6,79	6,10
^{232}U	8×10^{13} лет, 74 г	0	0	0	0	25,72	20,65	16,55	15,64	15,23	11,09
^{230}Th	8×10^4 лет	0	0	0	0	4,62	4,43	3,49	3,13	2,92	2,16
^{226}Ra	1617 г	0	0	0	0	2,67	2,14	1,71	0,48	0,41	0,36
^{210}Po	138,4 суток	0	0	0	0	0	0	0	0	6,99	7,51
^{209}Po	103 г	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,74
^{208}Po	2,93 г	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,61

Таблица 2. Результаты трансмутации химических элементов и превращения изотопов в процессе микробиологической обработки урановой руды Северо-Западной Африки.

Элементы	Продолжение таблицы 2										
	Количество мг элементов в 1 литре раствора на 100 г руды, мг элемента/100 г руды 1 л раствора. (Руда Северо-Западной Африки, массовая доля урана $^{238}\text{U} = 2,8\text{кг/г}$)										
	Day										
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
^{238}U	14,65	8,39	4,08	2,61	0	0	0	0	0	0	0
^{234}Th	6,22	4,05	1,99	1,09	0,49	0	0	0	0	0	0
^{234}Pa	4,54	3,96	3,44	2,85	2,36	1,47	0	0	0	0	0
^{233}Pa	4,81	3,96	3,40	3,04	2,61	1,77	0,99	0,51	0	0	0
^{232}Pa	4,61	3,72	3,07	2,76	1,97	1,00	0,68	0	0	0	0
^{231}Pa	80,27	50,11	29,12	17,48	11,96	9,23	0,58	0,38	0,09	0	0
^{227}Ac	110,77	151,77	180,18	193,61	201,27	206,78	215,81	215,44	216,12	216,73	214,46
^{234}U	6,00	5,68	4,73	3,86	3,07	2,29	1,58	0,81	0,39	0	0
^{233}U	4,70	1,67	1,35	0,95	0,60	0,26	0,12	0,08	0,04	0	0
^{232}U	8,06	6,97	4,24	3,85	3,46	2,66	1,68	0,83	0	0	0
^{230}Th	2,13	1,62	1,07	0,60	0,18	0,14	0,08	0,05	0	0	0
^{226}Ra	0,33	0,29	0,25	0,19	0,15	0,13	0,11	0,047	0,028	0	0
^{210}Po	8,63	10,53	12,75	14,86	16,81	18,55	19,78	21,32	21,40	21,55	22,08
^{209}Po	5,53	6,39	7,05	7,75	8,45	9,16	10,21	10,77	11,18	11,41	12,30
^{208}Po	5,25	6,03	7,32	8,28	9,74	9,14	10,40	11,46	12,27	11,74	12,25

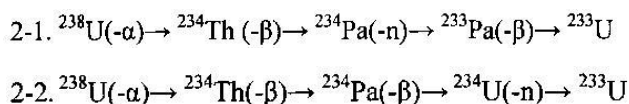
Scheme 1. Obtaining of various valuable isotopes of Uranium, Protactinium, Thorium, Actinium, Radium, Polonium from Uranium-238 (^{238}U) with microbiological method:

Получение микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U) различных ценных изотопов урана, протактиния, тория, актиния, радия, полония:



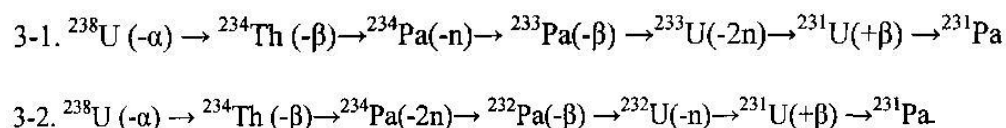
Scheme 2. Obtaining of Uranium-233 (^{233}U) from Uranium-238 (^{238}U) by various ways with microbiological method:

Схема 2. Получение урана-233 (^{233}U) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U) различными путями.



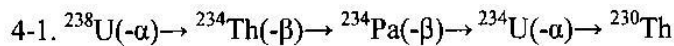
Scheme 3. Obtaining of Protoactinium-231 (^{231}Pa) from Uranium-238 (^{238}U) by various ways with microbiological method:

Схема 3. Получение протактиния-231 (^{231}Pa) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U) различными путями.



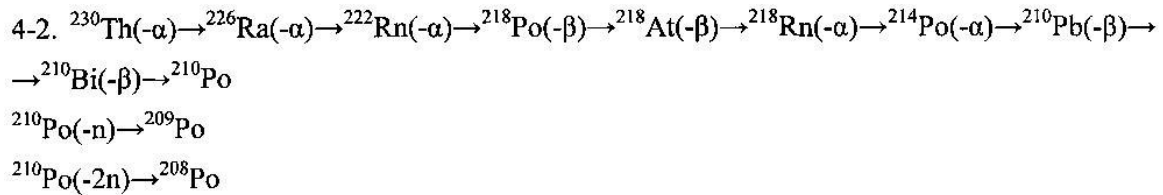
Scheme 4. Obtaining of Thorium-230 (^{230}Th) from Uranium-238 (^{238}U) by various ways with microbiological method:

Получение тория-230 (^{230}Th) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U):



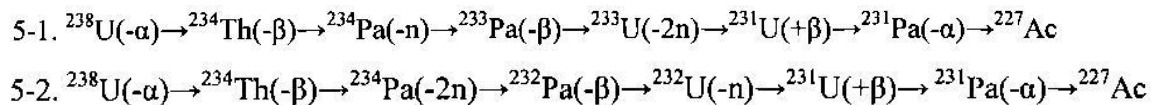
Then, the process either stops (and ^{230}Th separating), if Thorium-230 is the final target of the process. Or the process continues in order to obtain valuable and rare radioactive isotopes of Radium (^{226}Ra), Radon, Astatine, Polonium, Bismuth, and Plumbum:

Далее, процесс или останавливается (и выделяется ^{230}Th), если торий-230 является конечной целью процесса. Или процесс продолжается до получения ценных и редких радиоактивных изотопов радия (^{226}Ra), радона, астата, полония, висмута, свинца:



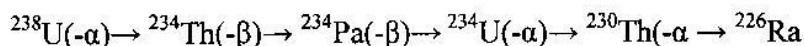
Scheme 5. Obtaining of Actinium-227 (^{227}Ac) from Uranium-238 (^{238}U) by various ways with microbiological method:

Схема 5. Получение актиния-227 (^{227}Ac) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U) различными путями.



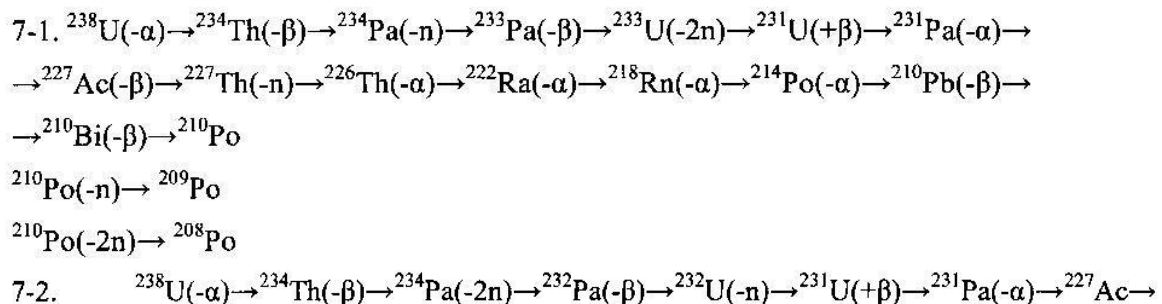
Scheme 6-1. Obtaining of Radium-226 (^{226}Ra) from Uranium-238 (^{238}U) with microbiological method:

Схема 6-1. Получение радия-226 (^{226}Ra) микробиологическим способом из урана-238:



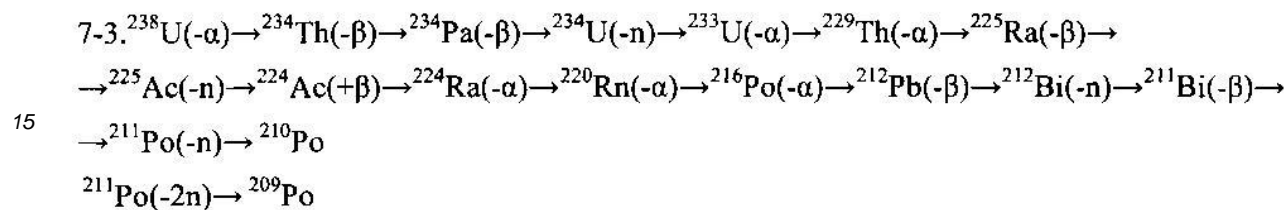
Scheme 7. Obtaining of the most valuable and stable isotopes of Polonium (^{210}Po , ^{209}Po , ^{208}Po) with microbiological method from Uranium-238 (^{238}U).

Схема 7. Получение наиболее ценных и стабильных изотопов полония (^{210}Po , ^{209}Po , ^{208}Po) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U).



Then the way further path of transformations of elements and isotopes to ^{210}Po , ^{209}Po , ^{208}Po is identical to the scheme

7-1.



Example 3.

Способ проведения процесса такой же, как и в примере 1. Для трансмутации химических элементов и получения новых элементов и изотопов в качестве сырья для микробиологической обработки использовали урановую руду Иордании, содержащую элементы уран, торий, фосфор, мышьяк, железо, ванадий как в окисленной форме (фосфаты, арсенаты, ванадаты), так и в восстановленной форме. Поэтому для создания высокого окислительно-восстановительного потенциала сырье обрабатывалось микроорганизмами *Thiobacillus halophilus* штамм DSM-6132 в водном растворе элементов с переменной валентностью, обладающих окислительно-восстановительной способностью: Rb^{+1} , Sr^{+2} , S^0/S^{-2} , $\text{Re}^{+4}/\text{Re}^{+7}$, $\text{As}^{+3}/\text{As}^{+5}$, $\text{Mn}^{+4}/\text{Mn}^{+7}$, $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$, $\text{N}^{-3}/\text{N}^{+5}$, P^{+5} , $\text{S}^{-2}/\text{S}^{+6}$ в их общей массе 0,01% от массы среды. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) в растворе процесса трансмутации в логарифмической стадии равен 753 мВ. Температура проведения процесса 28-32 градуса по Цельсию, pH среды 2,0-2,5. Время проведения процесса двадцать суток. Результаты проведенных и статистически обработанных экспериментов в зависимости от времени проведения процесса приведены в таблице 3. Спектрограммы анализов трансмутации химических элементов при микробиологической обработке урановой руды Иордании в зависимости от времени проведения процесса, через 24 часа (1 сутки), через 120 часов (пять суток), через 192 часа (8 суток), приведены на фигурах 12, 13, 14 соответственно.

Элементы	Период полу- распада $T_{1/2}$	Содержание элементов в 100 г руды, мг	Количество мг элементов в 1 литре раствора на 100 г руды, мг элемента/100 г руды в 1 л раствора. (Руда Иордании, массовая доля $^{238}\text{U}=387,5\text{г/т}$)									
			Сутки									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
^{238}U	$4,5 \times 10^9$, Лет	38,78	38,78	27,25	10,75	2,62	0	0	0	0	0	
^{234}Th	24,1 суток	0	0	6,87	10,38	7,37	0	0	0	0	0	
^{234}Pa	6,66 час	0	0	4,48	1,16	0	0	0	0	0	0	
^{235}Pa	27 сут.	0	0	0	2,00	2,25	2,32	0	0	0	0	
^{232}Pa	1,31 суток	0	0	0	3,41	4,14	1,25	0	0	0	0	
^{231}Pa	$3,43 \times 10^4$ лет	0	0	0	0	6,37	12,64	17,74	11,87	6,06	5,49	
^{234}U	2×10^{16} лет	0	0	0	5,71	6,28	4,16	3,97	3,86	2,87	1,32	
^{233}U	$1,62 \times 10^5$ лет	0	0	0	4,77	4,95	3,83	0	0	0	0	
^{232}U	8×10^{13} лет, 74г	0	0	0	0	2,84	3,03	0	0	0	0	
^{227}Ac	21,6 год	0	0	0	0	0	9,80	10,32	13,37	19,74	21,58	
^{230}Th	8×10^4 лет	0	0	0	0	1,09	0	0	0	0	0	
^{226}Ra	1617 г	0	0	0	0	0	0,37	0,42	0,51	0,59	0,67	
^{210}Po	138,4 суток	0	0	0	0	0	0	0,72	2,49	3,01	6,74	
^{209}Po	103 г	0	0	0	0	0	0	0,49	1,59	1,92	4,23	
^{208}Po	2,93 г	0	0	0	0	0	0	0,27	0,39	0,56	1,7	

Таблица 3. Результаты трансмутации химических элементов и превращения изотопов в процессе микробиологической обработки урановой руды Иордании.

Схема 3. Получение протактиния-231 (^{231}Pa) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U) различными путями.

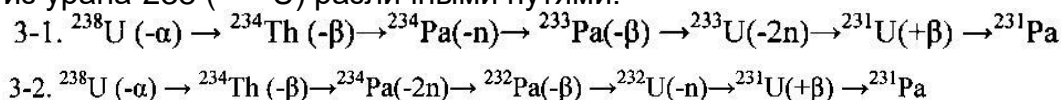
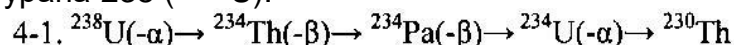


Схема 4. Получение тория-230 (^{230}Th) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U).



Далее, процесс или останавливается (и выделяется ^{230}Th), если торий-230 является конечной целью процесса. Или процесс продолжается до получения ценных и редких радиоактивных изотопов радия (^{226}Ra), радона, астата, полония, висмута, свинца:

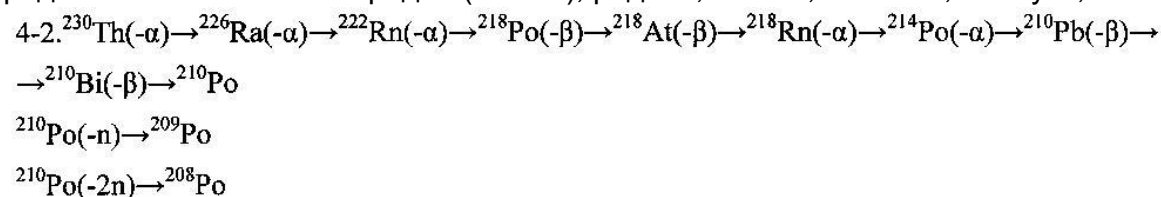


Схема 5. Получение актиния-227 (^{227}Ac) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U) различными путями.

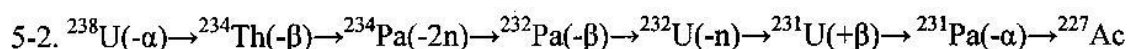
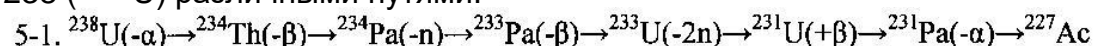


Схема 6-1. Получение радия-226 (^{226}Ra) микробиологическим способом из урана-238:

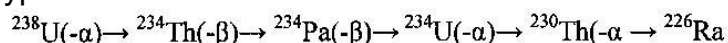
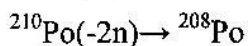
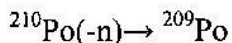
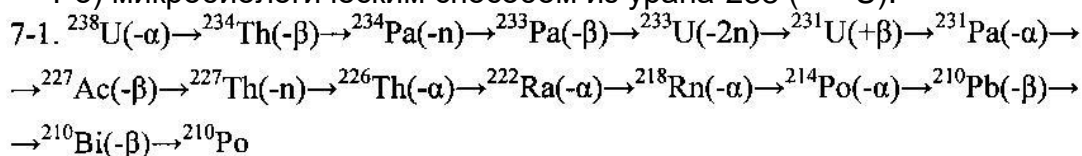
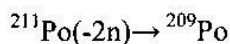
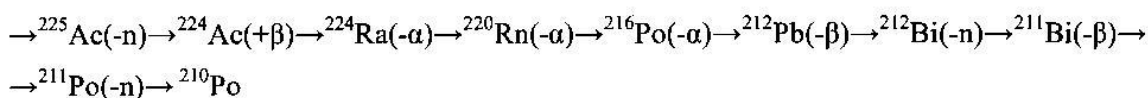
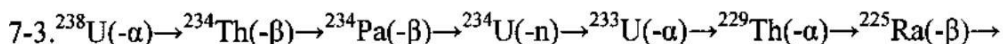


Схема 7. Получение наиболее ценных и стабильных изотопов полония (^{210}Po , ^{209}Po , ^{208}Po) микробиологическим способом из урана-238 (^{238}U).



7-2. $^{238}\text{U}(-\alpha) \rightarrow ^{234}\text{Th}(-\beta) \rightarrow ^{234}\text{Pa}(-2n) \rightarrow ^{232}\text{Pa}(-\beta) \rightarrow ^{232}\text{U}(-n) \rightarrow ^{231}\text{U}(+\beta) \rightarrow ^{231}\text{Pa}(-\alpha) \rightarrow ^{227}\text{Ac} \rightarrow$
 далее путь превращений элементов и изотопов до ^{210}Po , ^{209}Po , ^{208}Po идентичен схеме 7-1.



Пример 4.

Способ проведения процесса такой же, как и в примере 1. Для трансмутации химических элементов и получения новых элементов и изотопов в качестве сырья для микробиологической обработки использовали монацитовый торий содержащий песок побережья Индийского океана, содержащий элементы торий, фосфор, мышьяк, кремний, алюминий, а также церий и другие лантаноиды в основном в восстановленной форме. Поэтому для создания высокого окислительно-восстановительного потенциала сырье обрабатывалось микроорганизмами *Thiobacillus ferrooxidans* штамм DSM-14882 в водном растворе элементов с переменной валентностью, находящихся в растворе в окисленной форме: N^{+5} , P^{+5} , As^{+5} , S^{+6} , Fe^{+3} , Mn^{+7} , в их общей массе 0,01% от массы среды.

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) в растворе процесса трансмутации в логарифмической стадии равен 717 мВ. Температура проведения процесса 28-32 градуса по Цельсию, pH среды 1,0-1,5. Время проведения процесса десять суток. Результаты проведенных и статистически обработанных экспериментов в зависимости от времени проведения процесса приведены в таблице 4. Спектрограммы анализов

трансмутации химических элементов при микробиологической обработке торий содержащего песка побережья Индийского океана в зависимости от времени проведения процесса, через 24 часа (1 сутки), через 120 часов (пять суток), через 240 часов (десять суток) приведены на фигурах 15, 16, 17 соответственно.

Элементы	Содержание элементов в 100 г руды, мг	Количество мг элементов в 1 литре раствора на 100 г руды, мг элемента/100 г руды в 1 л раствора. (монацитовый песок побережья Индийского океана, массовая доля тория $^{232}\text{Th} = 440\text{г/г}$)									
		Сутки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
^{232}Th	44	44	42,4	33,92	20,88	17,08	8,80	6,08	1,92	1,44	0
^{228}Ra	0	0	1,57	3,18	4,37	6,00	4,00	2,93	2,03	1,56	0
^{227}Ac	0	0	0	6,71	18,33	16,62	25,60	28,03	28,57	28,78	29,31
^{210}Po	0	0	0	0	0	3,33	3,30	2,53	2,33	2,19	2,15
^{209}Po	0	0	0	0	0	0	0,27	0,83	3,57	4,01	4,41
^{208}Po	0	0		0	0	0	0	1,22	2,65	2,92	1,61
	0						0	0,53	0,32	0,26	0,10
	0						0	0	0,27	0,44	0,75

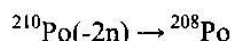
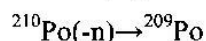
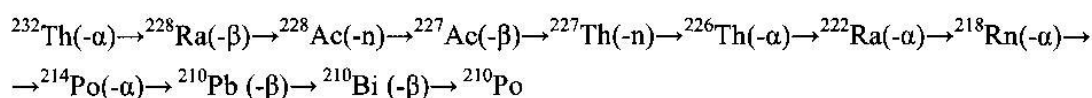
Таблица 4. Результаты трансмутации химических элементов и превращения изотопов в процессе микробиологической обработки монацитового торий-содержащего песка побережья Индийского океана.

Схема 6-2. Получение радия-228 (^{228}Ra) микробиологическим способом из природного

тория-232: $^{232}\text{Th}(-\alpha) \rightarrow ^{228}\text{Ra}$

Схема 8. Получение различных изотопов тория, актиния, радия,

полония микробиологическим способом из природного тория-232 (^{232}Th):



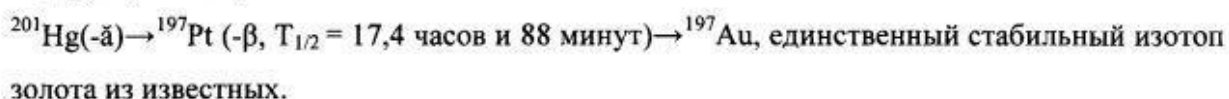
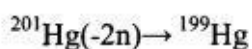
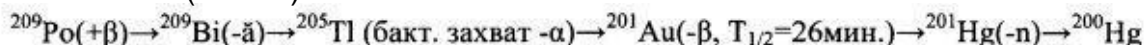
Пример 5.

Способ проведения процесса такой же, как и в примере 1. Для трансмутации химических элементов и получения новых элементов и изотопов в качестве сырья для микробиологической обработки использовали полоний-209, полученный в нашем процессе из актинидов, превращающийся (распадающийся) далее в изотопы ртути, золота и платины (схема 10). Сырье обрабатывалось микроорганизмами *Thiobacillus aquaesulis* штамм DSM-4255 в водном растворе элементов с переменной валентностью, обладающих окислительно-восстановительной способностью: Rb^{+1} , Sr^{+2} , S^0/S^{-2} , $\text{Re}^{+4}/\text{Re}^{+7}$, $\text{As}^{+3}/\text{As}^{+5}$, $\text{Mn}^{+4}/\text{Mn}^{+7}$, $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$, $\text{N}^{-3}/\text{N}^{+5}$, P^{+5} , $\text{S}^{-2}/\text{S}^{+6}$ в их общей массе 0,01% от массы среды. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) в растворе процесса трансмутации в логарифмической стадии равен 698 мВ. Температура проведения процесса 28-32 градуса по Цельсию, pH среды 2,0-2,5. Время проведения процесса двадцать суток.

На основании полученных экспериментальных и статистически обработанных данных авторами выведена следующая схема:

Схема 10. Получение стабильных изотопов ртути и золота (^{197}Au)

микробиологическим способом с иницированием и ускорением реакций из полония-209 (^{209}Po):



Пример 6.

Способ проведения процесса такой же, как и в примере 1. Для трансмутации химических элементов и получения новых элементов и изотопов в качестве сырья для микробиологической обработки использовали полоний-208, полученный в нашем

процессе из актинидов, превращающийся (распадающийся) далее в изотопы ртути, золота и платины (схема 11). Сырье обрабатывалось микроорганизмами *Thiobacillus ferrooxidans* штамм DSM-14882 в водном растворе элементов с переменной валентностью, обладающих окислительно-восстановительной способностью: Rb^{+1} , Sr^{+2} , S^0/S^{-2} , Re^{+4}/Re^{+7} , As^{+3}/As^{+5} , Mn^{+4}/Mn^{+7} , Fe^{+2}/Fe^{+3} , N^{-3}/N^{+5} , P^{+5} , S^{-2}/S^{+6} в их общей массе 0,01% от массы среды. В растворе процесса трансмутации в логарифмической стадии $Eh=753$ мв. Применяли микроорганизмы Температура проведения процесса 28-32 градуса по Цельсию, pH среды 1,0-1,5. Время проведения процесса двадцать суток. На основании полученных экспериментальных и статистически обработанных данных авторами

выведена следующая схема:

Схема 11. Получение стабильных изотопов ртути, таллия, платины (^{195}Pt) и золота (^{197}Au) микробиологическим способом с иницированием и ускорением реакций из полония-208:

$^{208}Po(+\beta) \rightarrow ^{208}Bi(-\alpha) \rightarrow ^{204}Tl(+\beta, -\beta, T_{1/2}=3,56 \text{ лет}) \rightarrow$ бактериальное иницирование и ускорение:

11-1. $^{204}Tl(+\beta) \rightarrow ^{204}Hg(-n) \rightarrow ^{203}Hg(-\beta) \rightarrow ^{203}Tl(+\beta) \rightarrow ^{203}Hg(-\beta) \rightarrow ^{203}Tl(-n) \rightarrow ^{202}Tl(+\beta) \rightarrow$
 $\rightarrow ^{202}Hg(-n) \rightarrow ^{201}Hg$

$^{202}Hg(-2n) \rightarrow ^{200}Hg$.

$^{202}Hg(-\alpha) \rightarrow ^{198}Pt$ (стабильный изотоп платины).

11-2. $^{204}Tl(+\beta) \rightarrow ^{204}Hg(-n) \rightarrow ^{203}Hg(-\beta) \rightarrow ^{203}Tl(-\alpha) \rightarrow ^{199}Au(-\beta, T_{1/2}=3,14 \text{ суток}) \rightarrow$

$\rightarrow ^{199}Hg(-n) \rightarrow ^{198}Hg$

$^{199}Hg(-2n) \rightarrow ^{197}Hg(+\beta, T_{1/2} = 65 \text{ часов и } 24 \text{ часа}) \rightarrow ^{197}Au$ (единственный стабильный изотоп золота из известных).

$^{199}Hg(-\alpha) \rightarrow ^{195}Pt$ (стабильный изотоп платины).

11-3. $^{204}Tl(-\beta) \rightarrow ^{204}Pb(-n) \rightarrow ^{203}Pb(+\beta) \rightarrow ^{203}Tl(-2n) \rightarrow ^{201}Tl(+\beta, T_{1/2}=72 \text{ ч, } 5 \text{ мс}) \rightarrow ^{201}Hg(-n) \rightarrow ^{200}Hg$

$^{201}Hg(-2n) \rightarrow ^{199}Hg$

$^{201}Hg(-\alpha) \rightarrow ^{197}Pt(-\beta, T_{1/2} = 17,4 \text{ часов и } 88 \text{ минут}) \rightarrow ^{197}Au$ (единственный стабильный изотоп золота из известных).

Пример 7.

Способ проведения процесса такой же, как и в примере 1. Для трансмутации химических элементов и получения новых элементов и изотопов в качестве сырья для микробиологической обработки использовали образцы плутония с целью превращения плутония-239 в уран-235, протактиний-231 и актиний-227 (схема 12). Сырье обрабатывалось микроорганизмами *Thiobacillus thioarvus* штамм DSM-505 в водном растворе элементов с переменной валентностью, обладающих окислительно-восстановительной способностью:

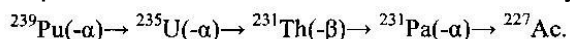
Rb^{+1} , Sr^{+2} , S^0/S^{-2} , Re^{+4}/Re^{+7} , As^{+3}/As^{+5} , Mn^{+4}/Mn^{+7} ,

$\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$, $\text{N}^{-3}/\text{N}^{+5}$, P^{+5} , $\text{S}^{-2}/\text{S}^{+6}$ в их общей массе 0,01% от массы среды. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) в растворе процесса трансмутации в логарифмической стадии процесса трансмутации $E_h=759$ мВ. Температура проведения процесса 28-32 градуса по Цельсию, pH среды 2,0-2,5. Время проведения процесса двадцать суток. На

5 основании полученных экспериментальных и статистически обработанных данных авторами выведена следующая схема:

Схема 12. Получение урана-235, тория-231, протактиния-231 и актиния-227 микробиологическим способом с ускорением реакций распада из плутония-239 (может, использоваться оружейный плутоний, или плутоний - побочный продукт ядерного

10 сгорания ТВЭЛОВ АЭС, подлежащий утилизации):



Можно остановить процесс на любом этапе, с получением ^{235}U , или ^{231}Th , или ^{231}Pa ,

15 или ^{227}Ac , или их смеси в различных соотношениях. Или можно продолжить процесс превращении элементов и изотопов из актиния-227 до ^{210}Po , ^{209}Po , ^{208}Po , с получением промежуточных элементов, по схеме 7-1.

Пример 8.

Способ проведения процесса такой же, как и в примере 1. Для трансмутации

20 химических элементов и получения новых элементов и изотопов в качестве сырья для микробиологической обработки использовали образцы плутония с целью превращения

плутония-241 в америций-241 и нептуний-237 (схема 13). ^{241}Pu - побочный продукт ядерных реакций при сгорании ТВЭЛОВ АЭС, подлежащий утилизации, взят как

25 ядерный отход и побочный продукт промышленного сгорания урана. Сырье обрабатывалось микроорганизмами *Thiobacillus tepidarius* штамм DSM-3134 в водном

растворе элементов с переменной валентностью, обладающих окислительно-восстановительной способностью: Rb^{+1} , Sr^{+2} , S^0/S^{-2} , $\text{Re}^{+4}/\text{Re}^{+7}$, $\text{As}^{+3}/\text{As}^{+5}$, $\text{Mn}^{+4}/\text{Mn}^{+7}$, $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$, $\text{N}^{-3}/\text{N}^{+5}$, P^{+5} , $\text{S}^{-2}/\text{S}^{+6}$ в их общей массе 0,01% от массы среды. $E_h=736$ мВ.

30 Температура проведения процесса 28-32 градуса по Цельсию, pH среды 2,0-

2,5. Схема 13. Получение америция-241 (^{241}Am) и нептуния-237 (^{237}Np) микробиологическим способом из плутония-241 с инициацией и ускорением реакций распада:

35 $^{241}\text{Pu}(-\beta, T_{1/2} = 13 \text{ лет; бактериальная инициация и ускорение}) \rightarrow ^{241}\text{Am}(-\alpha, T_{1/2}=2 \times 10^{14} \text{ лет и } 485 \text{ лет; бактериальная инициация и ускорение}) \rightarrow ^{237}\text{Np}(-\alpha, T_{1/2} = 2,2 \times 10^5 \text{ лет}).$

Процесс можно остановить или замедлить на этапе получения америция-241 с отбором последнего. Пример 9.

40 В данном примере показана интенсификация процесса трансмутации химических элементов при ее замедлении при лимитирующих факторах. Способ проведения процесса и сырье такие же, как и в примере 2. Контрольный вариант: В качестве сырья также использовалась урановая руда Северо-Западной Африки, но отличие от примера 2 состояло в большем содержании руды в растворе: соотношение твердой фазы (руды)

45 к жидкой фазе составляло 1:3 (100 грамм руды в 300 мл водного раствора). Сырье обрабатывалось микроорганизмами *Thiobacillus aquaesulis* штамм DSM-4255 в водном растворе элементов с переменной валентностью, находящихся в растворе в окисленной форме: N^{+5} , P^{+5} (в форме фосфатов), As^{+5} , S^{+6} , Fe^{+3} , Mn^{+7} , в их общей массе 0,01% от

массы среды, как в примере 2. $E_h=410$ мВ. Температура проведения процесса 30-35 градусов по Цельсию, pH среды 2,0-2,5. Время проведения процесса двадцать суток. Заряд бактерий близок к нулевому значению. Электрофоретическая подвижность (ЭФП) микробных клеток равна $0,01 \text{ V}^{-1} \times \text{см}^2 \times \text{сек}^{-1}$. Изначальное содержание урана-238 в среде было 280 г/л. На пятые сутки процесса содержание урана-238 упало до 200,52 мг/л, но протактиний-231, актиний-227 и изотопы полония в среде не обнаружены, при этом обнаружены изотопы торий-234, протактиний-234, протактиний-233, уран-234 (первичные продукты трансмутации урана-238). Процессы трансмутации урана-238 и образования новых элементов и изотопов были замедлены во времени по сравнению с примером 2, в котором соотношение твердой фазы (руды) к жидкой фазе составляло 1:10 (100 грамм руды в 1000 мл водного раствора). Замедление процесса связано с повышенной концентрацией ионов металлов в растворе при малом количестве воды на руду. Опытный вариант: В такой же раствор, лимитированный по воде, в котором соотношение твердой фазы (руды) к жидкой фазе составляло 1:3 (100 грамм руды в 300 мл водного раствора), дополнительно ввели 0,001 г/л полиамфолита - полиакриловой кислоты капролактама (соотношение акриловой кислоты к капролактаму 9:1). Электрофоретическая подвижность (ЭФП) микробных клеток равна $0,89 \text{ V}^{-1} \times \text{см}^2 \times \text{сек}^{-1}$, заряд микроорганизмов сдвинулся от изоэлектрической точки, в отрицательную сторону. $E_h=792$ мВ. На пятые сутки содержание в растворе урана-238 стало равно 149,40 мг/л, появились изотопы - продукты дальнейшего распада: уран-232, уран-233, протактиний-231, актиний-227, радий-226, полоний-210, 209 и 208 - все в большом количестве. Произошло ускорение процесса. На основании экспериментальных данных получена общая схема различных направлений и цепочек распада урана-238 при получении из него микробиологическим способом различных ценных изотопов урана, протактиния, тория, актиния, радия, полония и других элементов (фигура 18).

Энергия электронного перехода (keV), по которой определяли химические элементы рентгено-флуоресцентным методом (фигуры с 1 по 17), приведены в таблице 5.

Таблица 5. Значения энергии электронного перехода (keV)

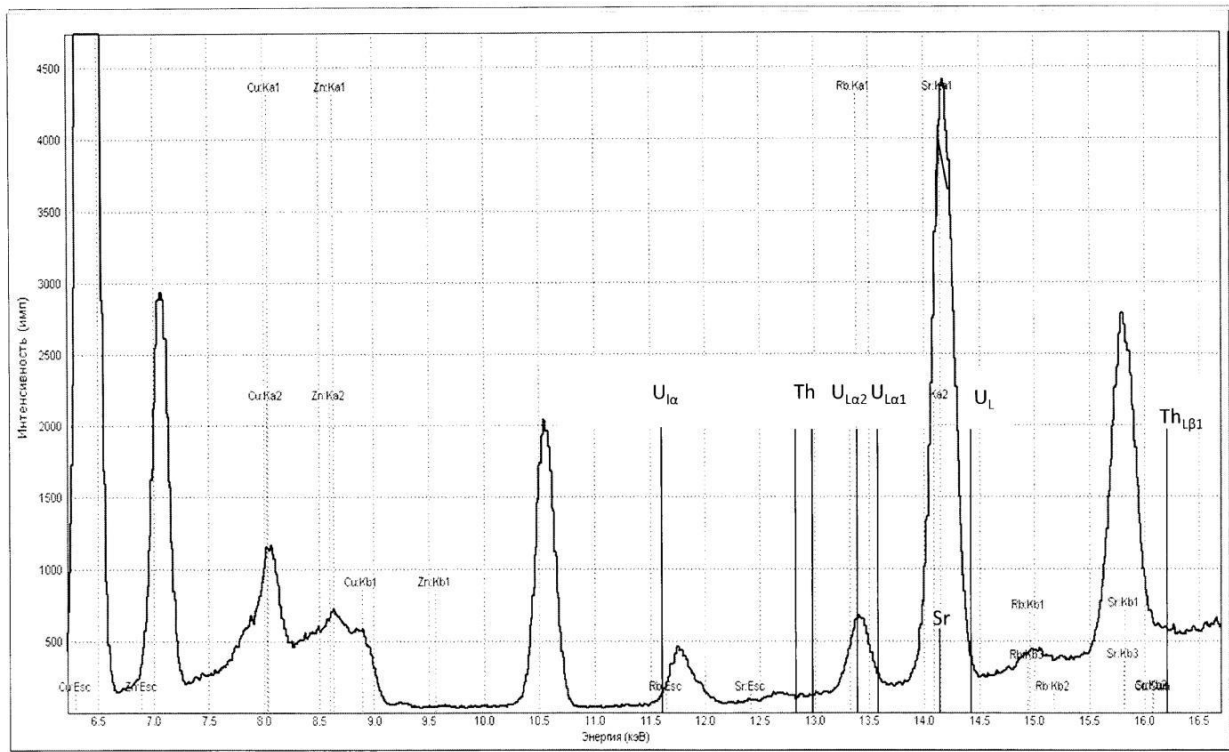
Элементы	keV								
	L _{α1}	L _{α2}	L _{α3}	L _{α4}	L _{β1}	L _{β2}	K _{α1}	K _{α2}	K _{β1}
Am	14,62	14,41			18,86				
Pu	14,28	14,09			18,30				
Np	13,95	13,76			17,75				
U	13,61	13,44					14,40	11,62	
Pa	13,29	13,12			16,70	15,99			
Th	12,97	12,81			16,20				
Ac	12,65	12,50			15,71				
Ra	12,34	12,20			15,24				
Fr	12,03	11,90			14,77				
Po	11,13	11,016			13,45				
Hg	9,99				1,82				
Au	9,71	9,63			11,44				
Pt	9,44	9,36			11,07				
Hf	7,90	7,84			9,02				
Yb	7,42	7,37			8,40				
Zr							15,77	15,69	17,67
Y							14,96		16,70
Sr							14,16	14,10	15,83
Rb							13,40	13,34	14,96
Br							11,92	11,88	13,29
As							10,54		11,73
Ga							9,25		10,27
Ni							7,48		8,27
Fe							6,40		7,06

Формула изобретения

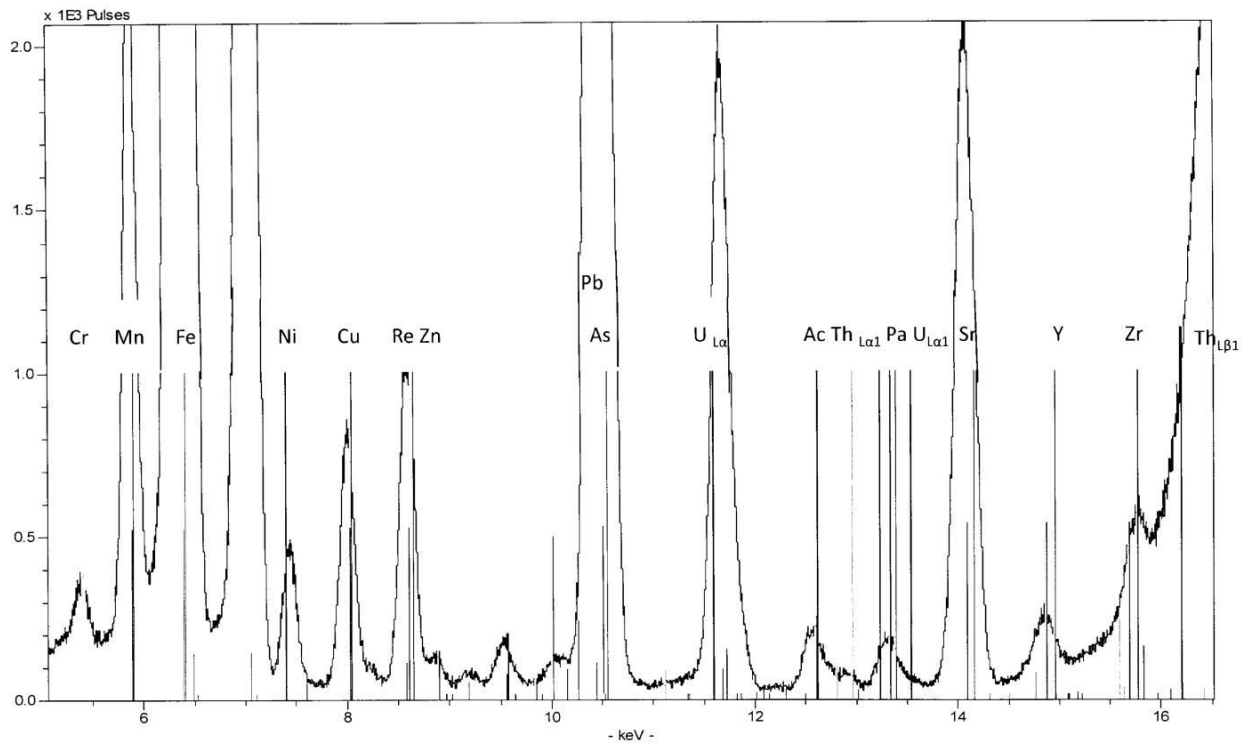
1. Микробиологический способ трансмутации химических элементов и превращения 30
изотопов химических элементов, характеризующийся тем, что радиоактивное сырье,
содержащее радиоактивные химические элементы или их изотопы,
обрабатывают водной суспензией бактерий рода *Thiobacillus* в присутствии
элементов с переменной валентностью.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что способ ведут с получением полония, радона,
35 франция, радия, актиния, тория, протактиния, урана, нептуния, америция, никеля,
марганца, брома, гафния, иттербия, ртути, золота, платины и их изотопов.

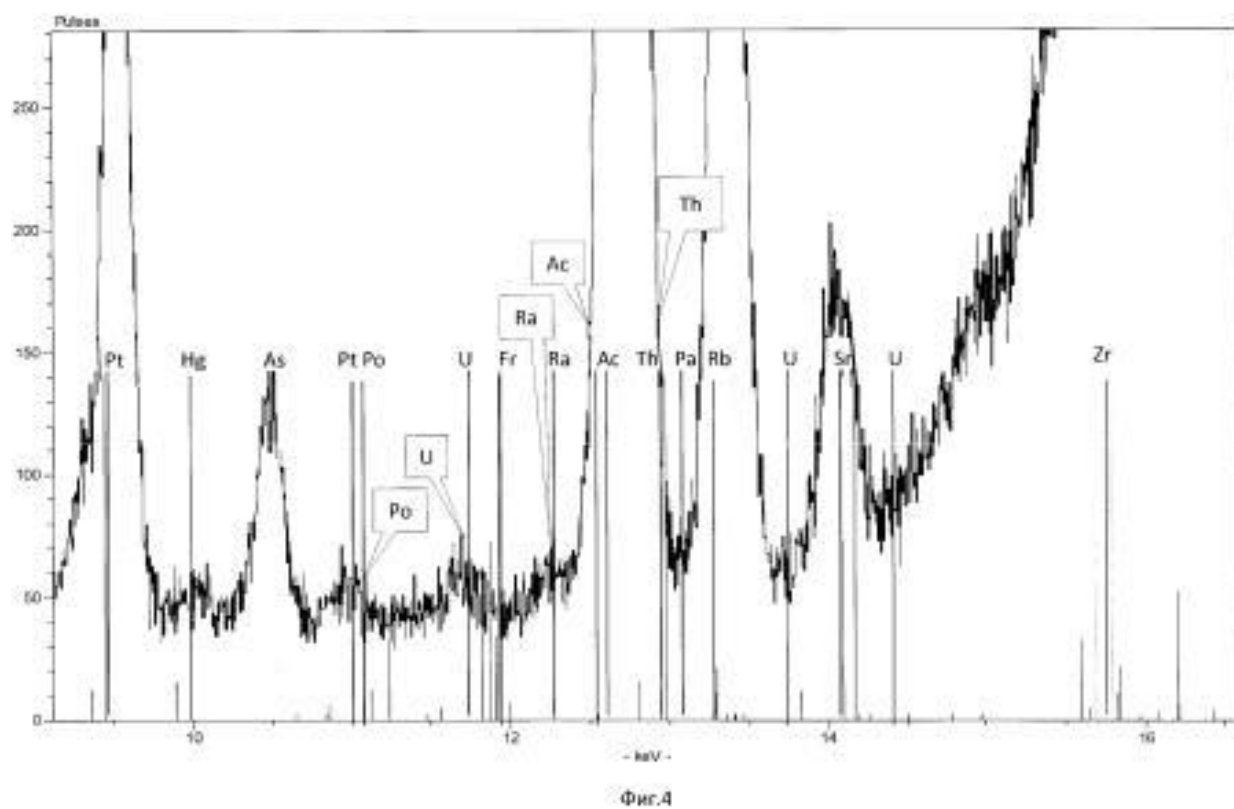
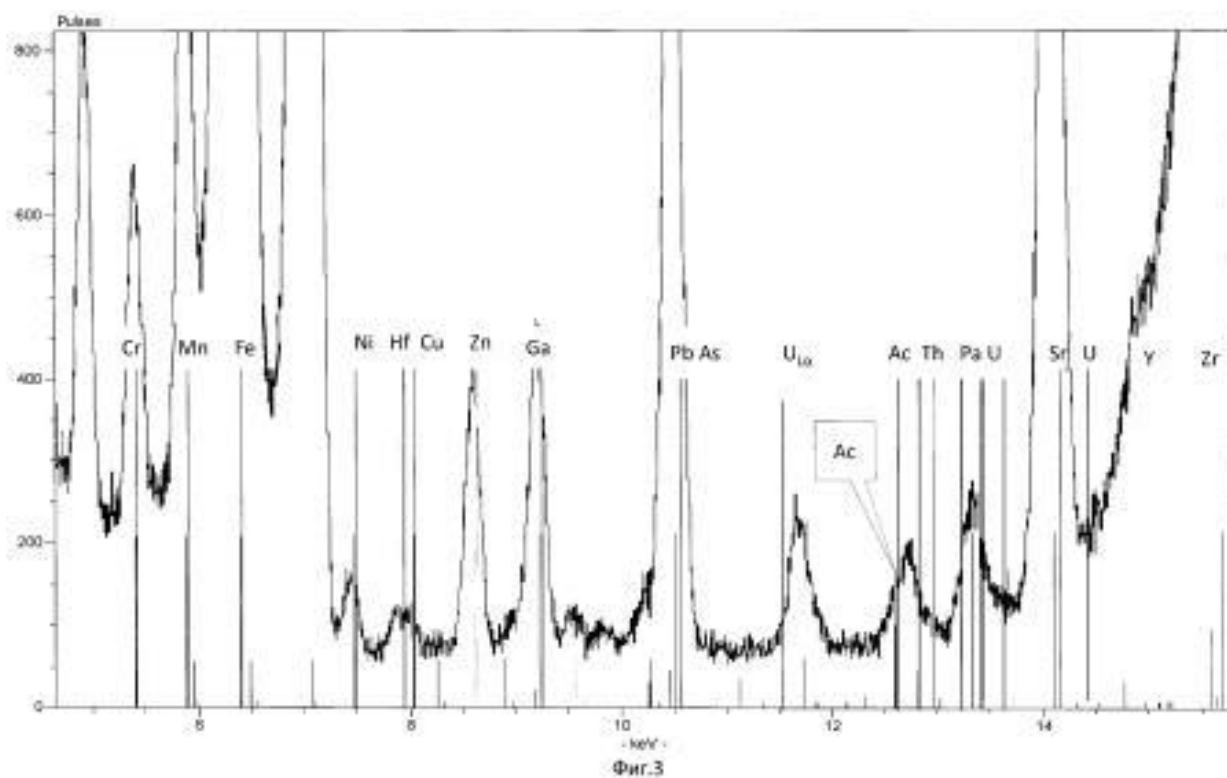
3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что в качестве радиоактивного
сырья, содержащего радиоактивные химические элементы, используют руды или
40 радиоактивные отходы ядерных циклов.

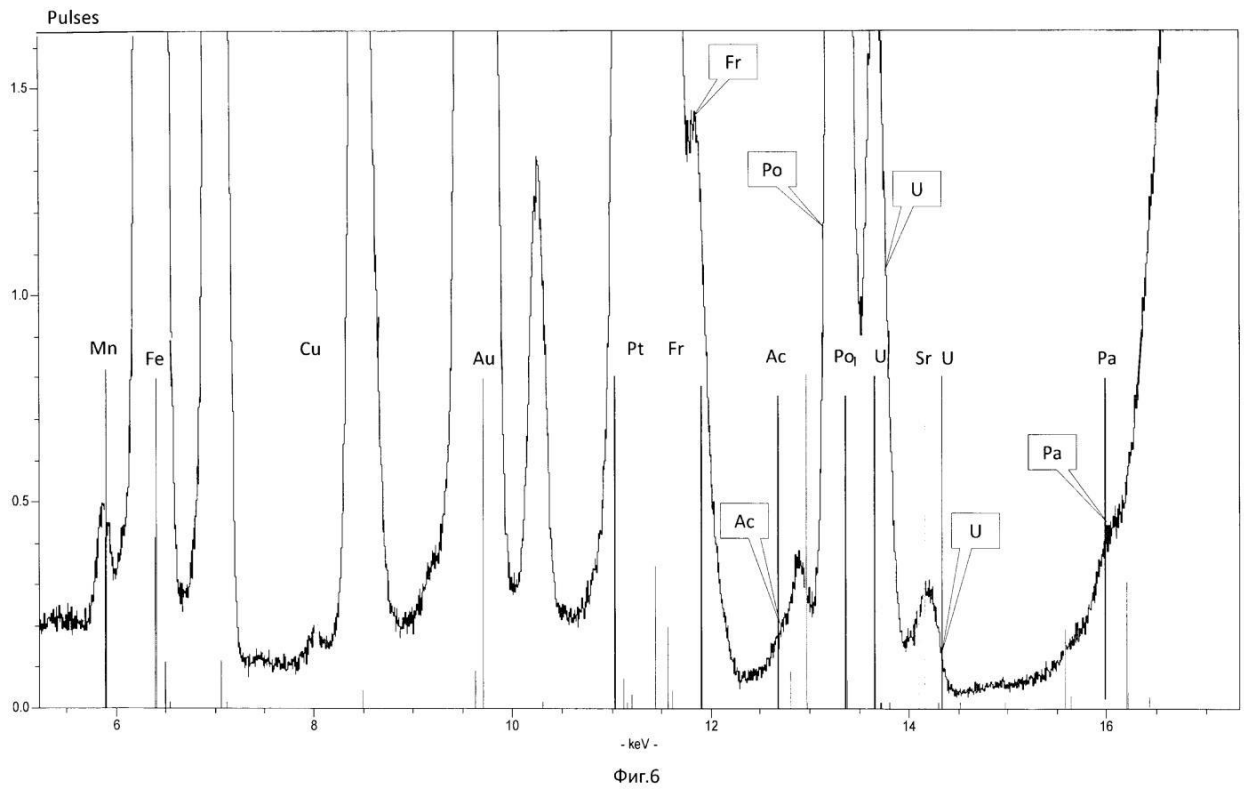
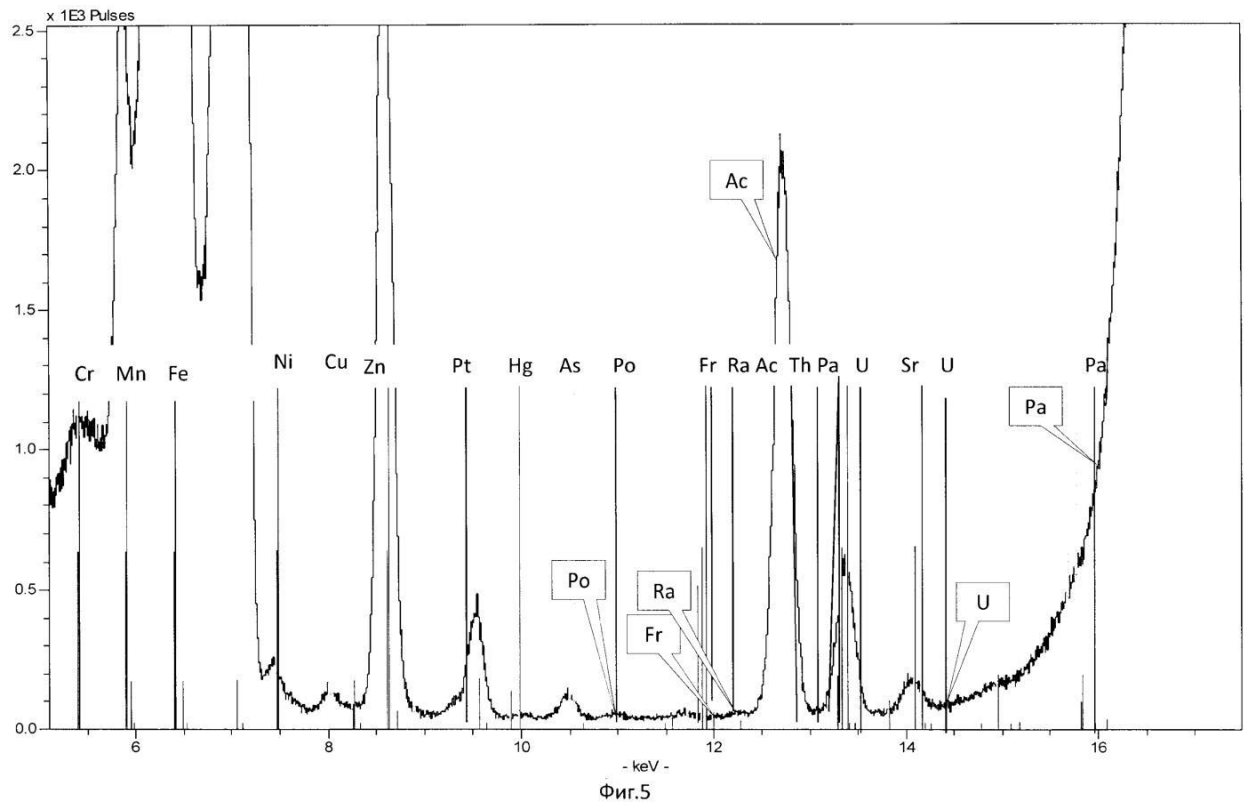


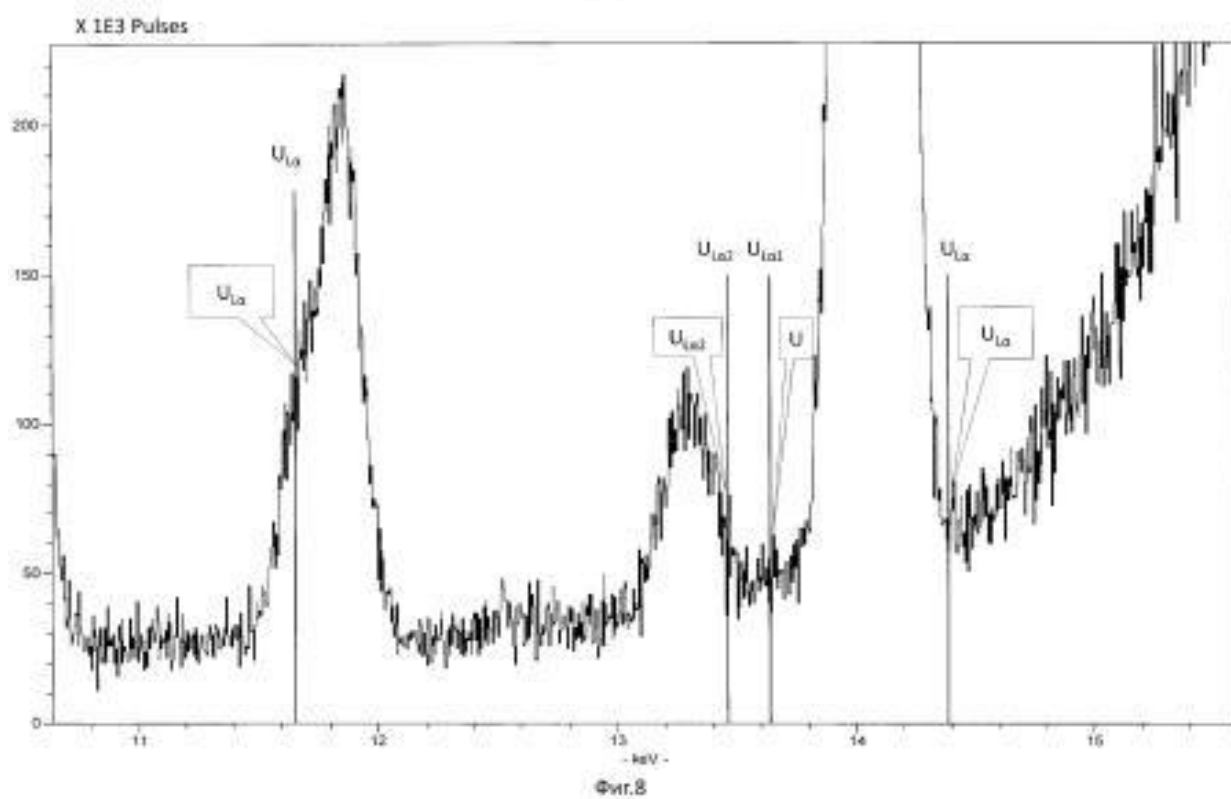
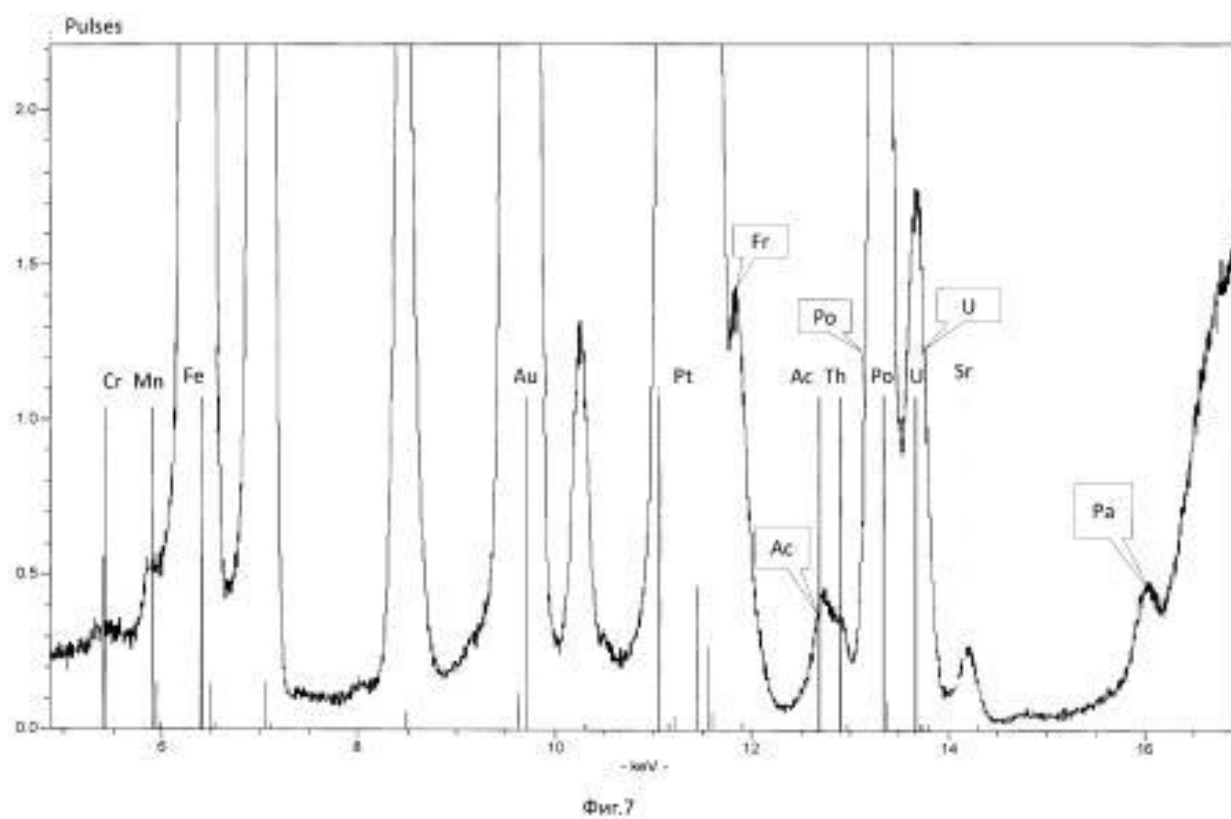
Фиг.1

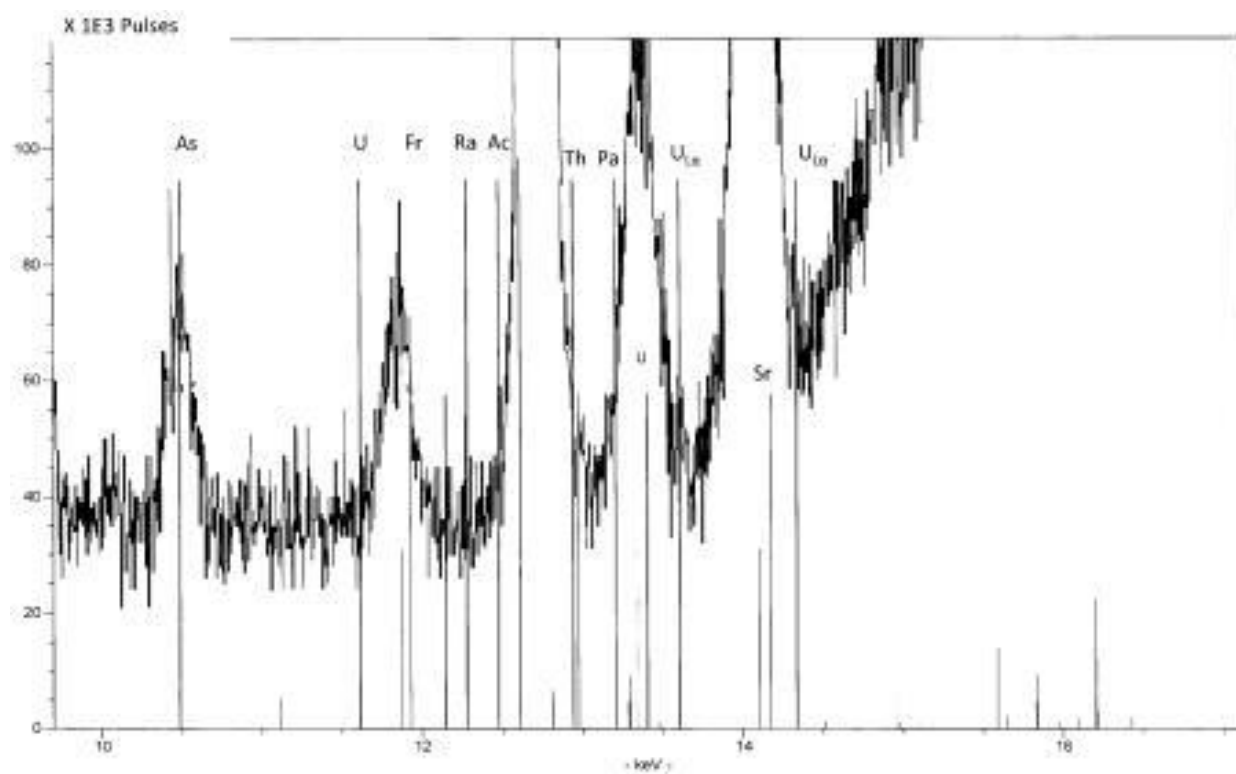


Фиг. 2

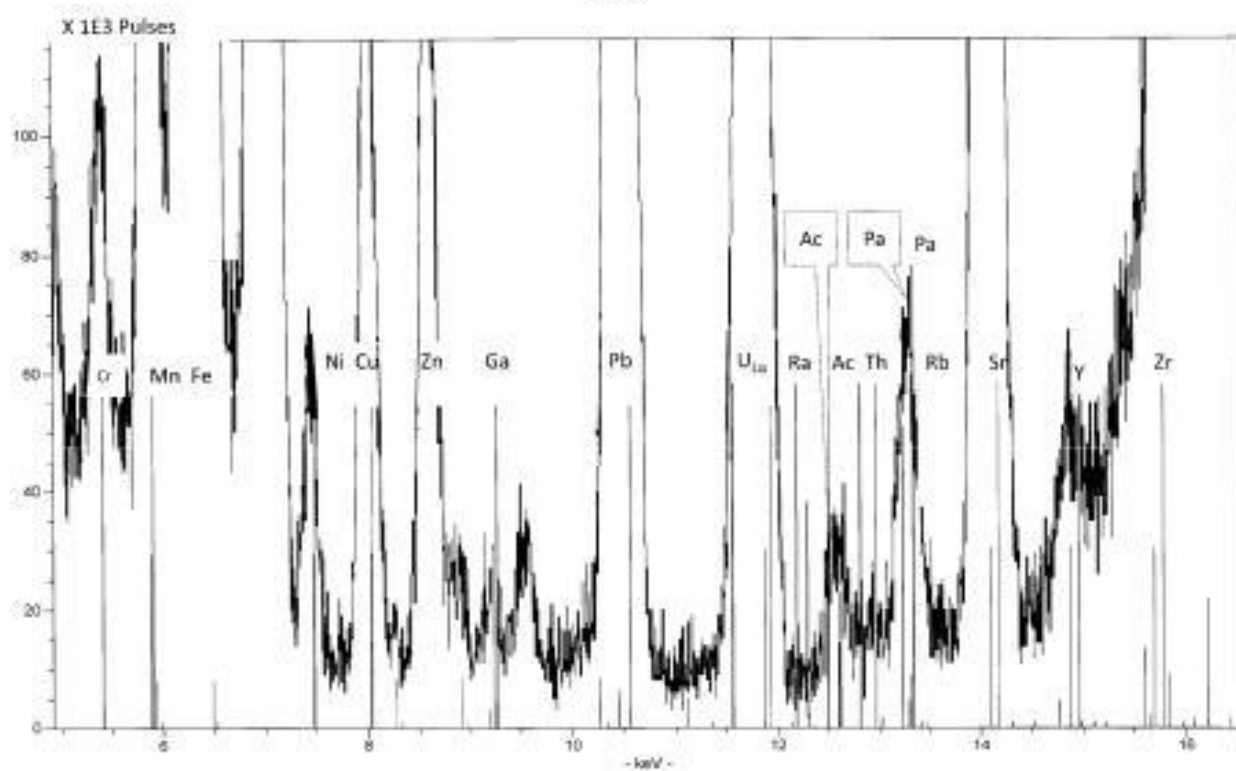




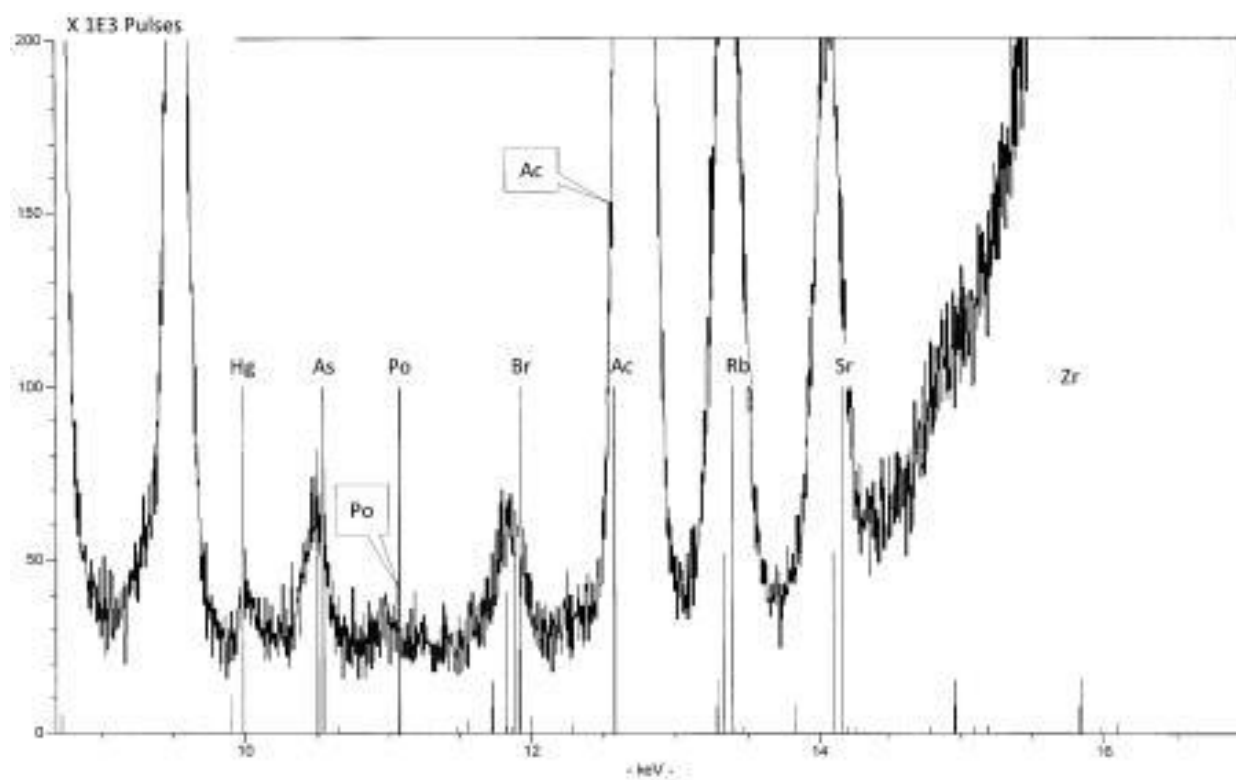




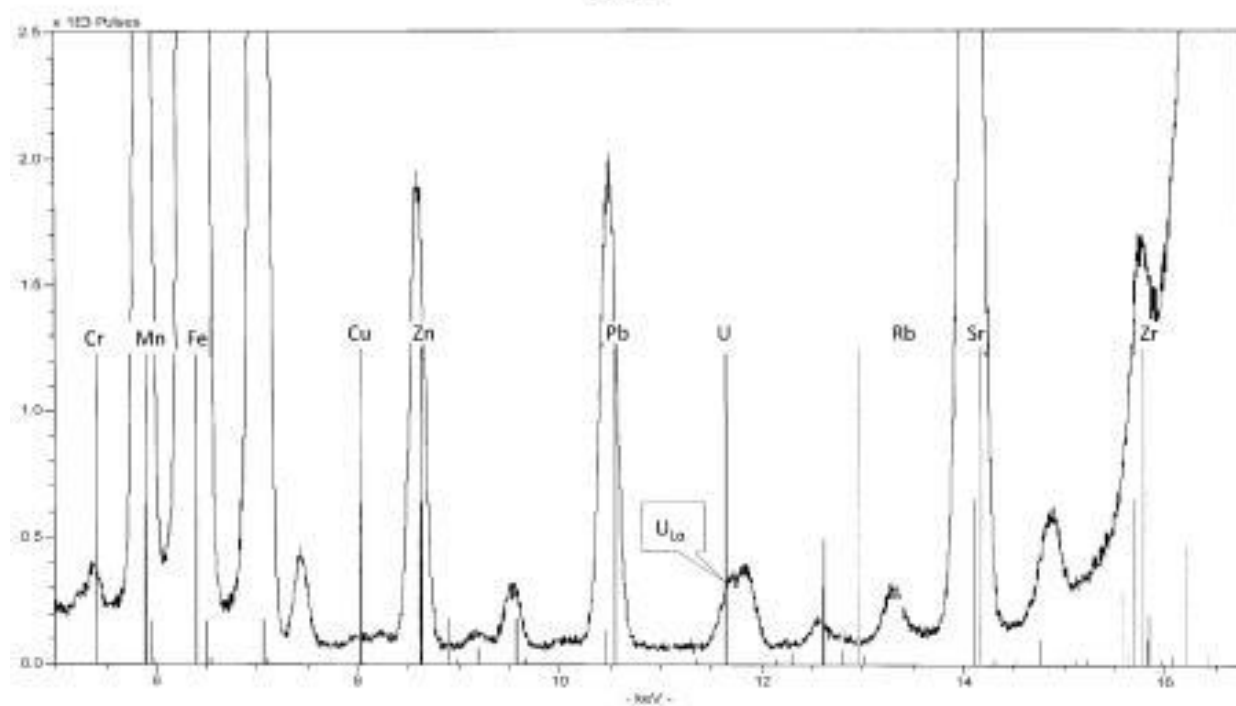
Фиг. 9



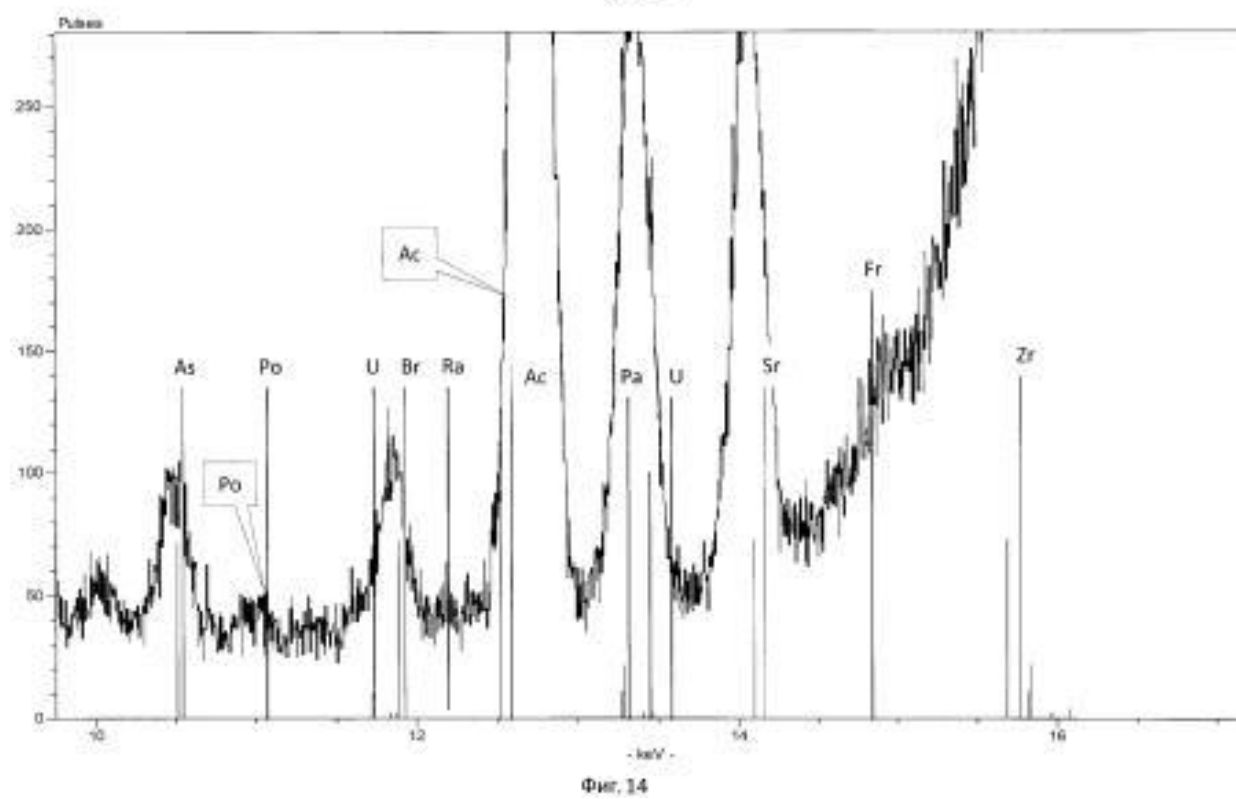
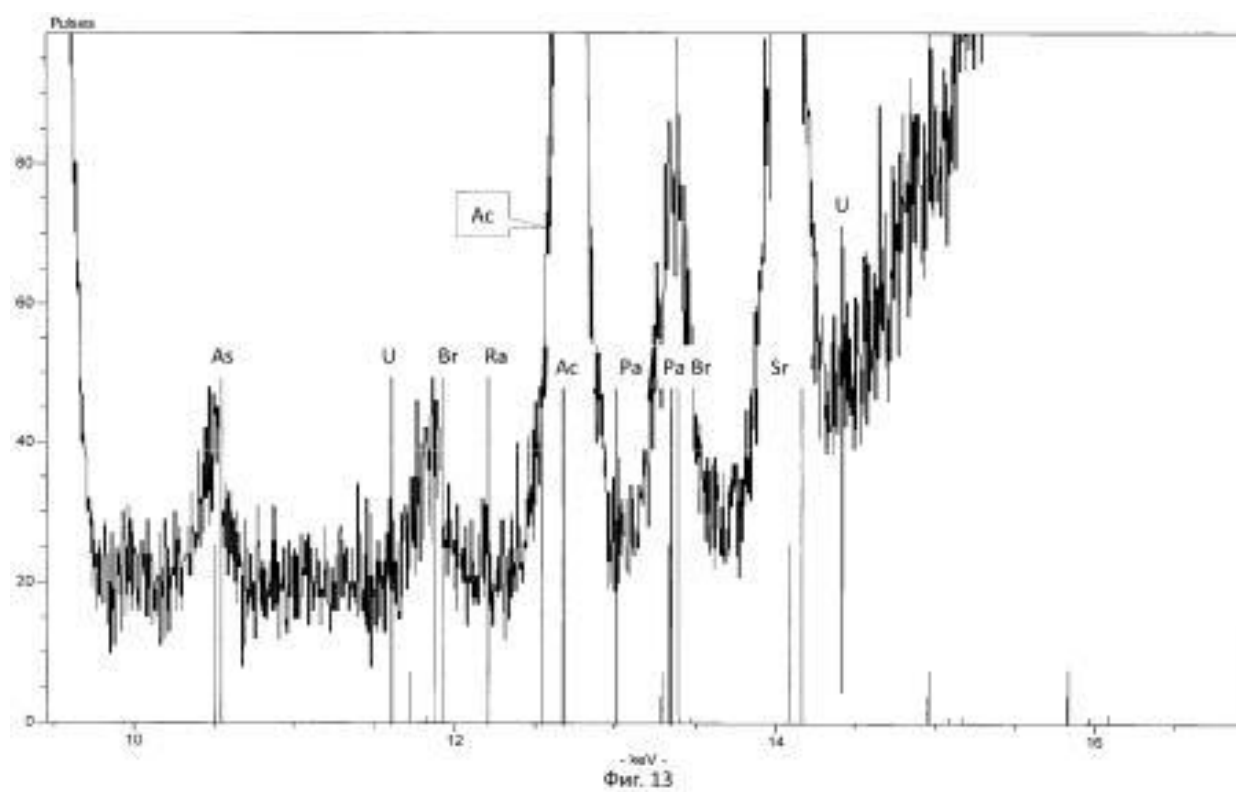
Фиг. 10

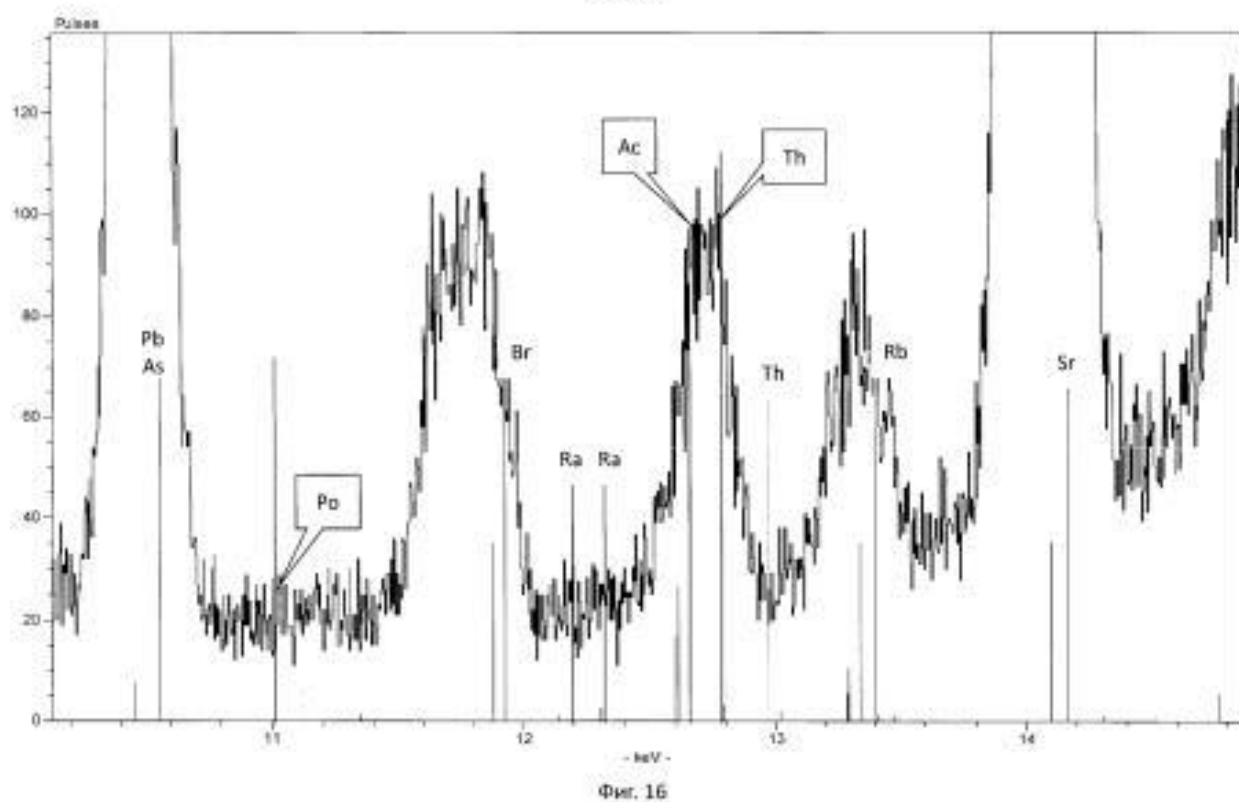
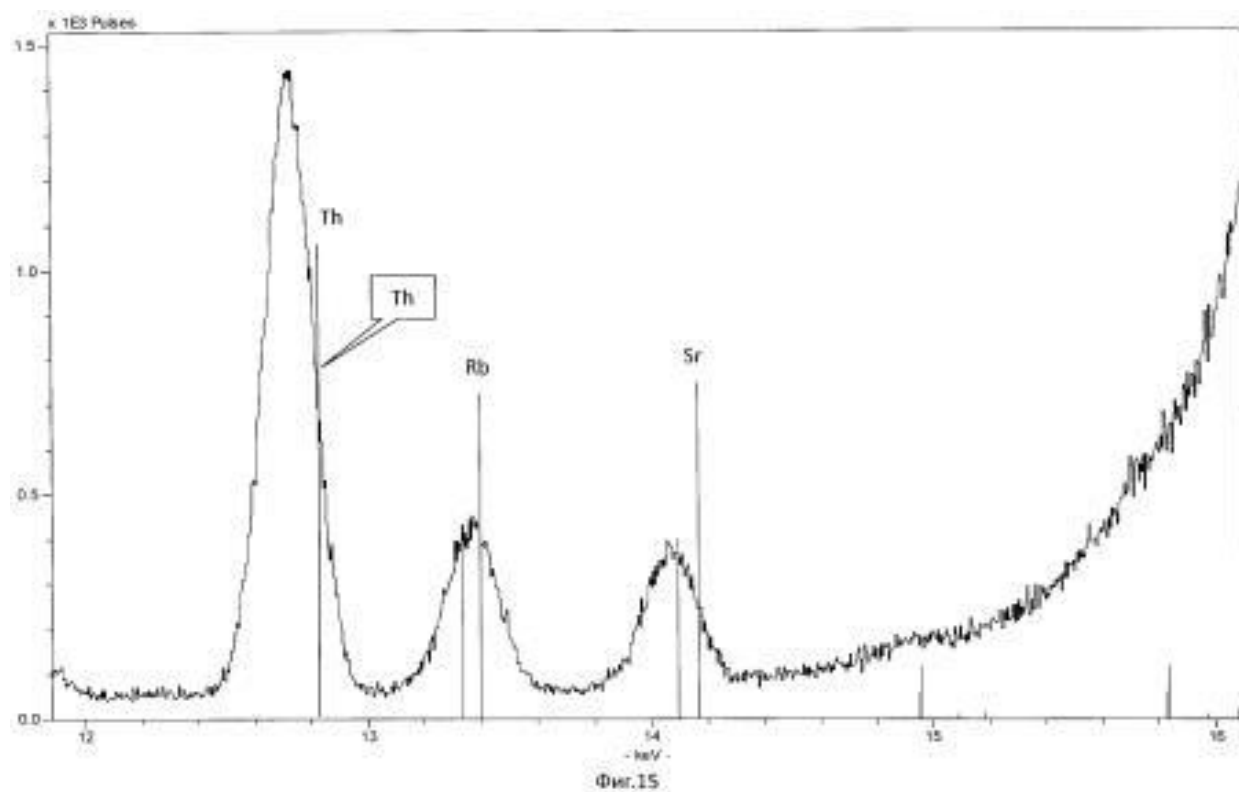


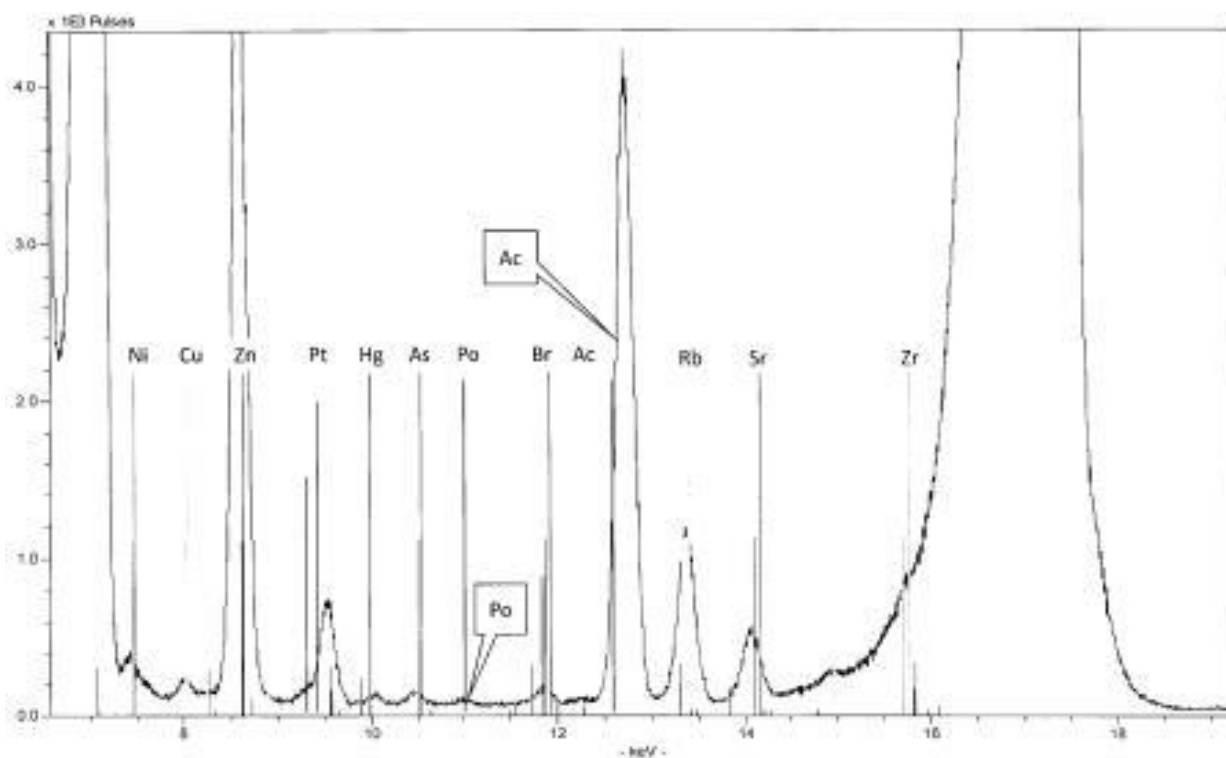
Фиг. 11



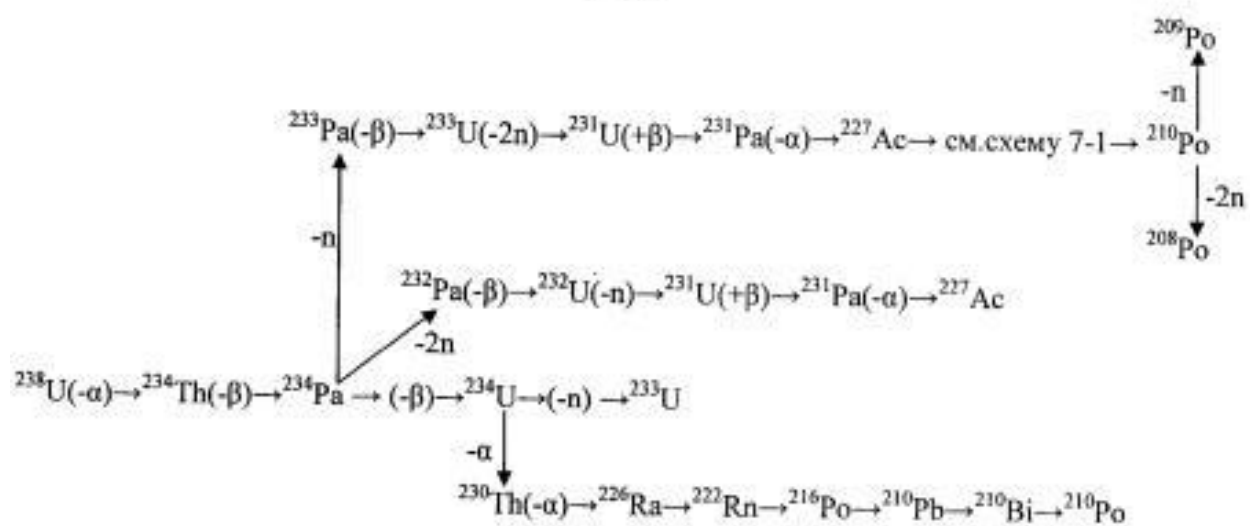
Фиг. 12







Фиг. 17



Фиг. 18